ЛОРАН ШЕФЕР

КВАНТИКС

КОМИКС О КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ И ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



"УВЛЕКАТЕЛЬНО И РАЗВЛЕКАТЕЛЬНО!"
КАРЛО РОВЕЛЛИ, физик

«Увлекательно и развлекательно!»

Карло Ровелли, **физик, один из родоначальников петлевой квантовой теории гравитации**

«Тороплюсь поддержать эту красивую книгу.
Наша цивилизация нуждается в таких книгах, как эта: доступных и глубоких»

Николя Гизин, **физик, специалист в области квантовой криптографии**

«Благодаря этой книге я узнал, что чем быстрее мы двигаемся, тем больше возрастает наша инертная масса. С тех пор я убедил свою жену, что она зря заставляла меня бегать, чтобы сбросить вес. Спасибо!»

ZEP, **художник, создатель комикса «Титоф»**

«Действительно круто и познавательно!»

Жак Дюбоше,
нобелевский лауреат по химии в 2017 г.

«Потрясающий графический роман. Наряду с забавными историями там есть и серьезные отрывки, которые здорово помогают представить. Повествование связывает вместе историю научных открытий, их значение и условия, представляя их через комичные приключения персонажей — обычных людей в повседневной жизни».

Клод-Алан Пилле, **физик-математик**

«Этот комикс представляет цельную, аргументированную, интересную точку зрения, которая позволяет читателям понять идею ограничений того, что мы знаем или что можем предположить о реальности физического мира».

Давид Рюэль, **физик-математик,
медаль Макса Планка в 2014 г.**

Author – Illustrator

Laurent Schafer

Colorists

Ariane Schafer
Laurent Schafer

Scientific collaboration

Claude-Alain Pillet

Professor at the Centre of Theorical Physics,
Université d'Aix-Marseille, Université de Toulon, CNRS

Senior Editor

Anne Pompon

Production Editor

Sarah Forveille

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-078942-9

Лоран Шефер

КВАНТИКС

Комикс о квантовой физике и относительности



Москва, 2020

УДК 530.1
ББК 22.31
Ш53

Лоран Шефер
Ш53 Квантикс: Комикс о квантовой физике и относительности. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 154 с.

ISBN 978-5-97060-831-9

Квантовый мир глазами героев комикса!

Что если за хрупким фасадом нашего повседневного мира кроется иная реальность? В ней яблоко, сорвавшееся с дерева, не падает на землю, а парит в воздухе; масса в ней пуста, пространство противоречиво, а время переменчиво.

Звучит фантастично? Однако учёные доказали: такая реальность существует. Добро пожаловать в квантовый мир, где природа ведёт себя вовсе не так предсказуемо, как мы привыкли думать!

На страницах вы найдёте сведения о квантах и фотонах, рассказы об открытиях из области физики и палеонтологии, факты из биографии великих учёных и любопытные параллели между физикой и философией. И всё это в увлекательной форме комикса!

Издание предназначено для всех, кто интересуется современными тенденциями в науке и предпочитает изучать самые сложные ее аспекты в популярном изложении.

УДК 530.1
ББК 22.31

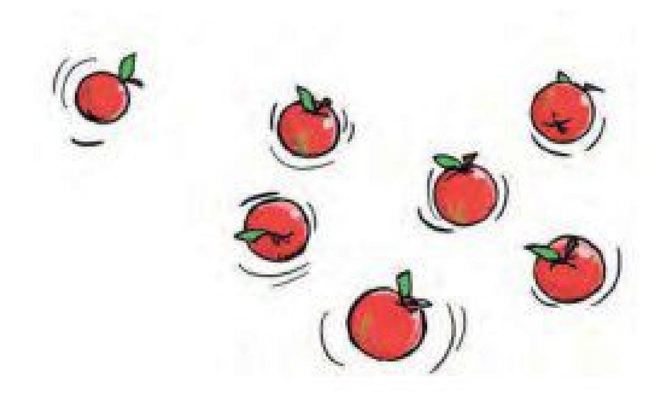
Quantix. La physique quantique et la relativité en BD, by Laurent SCHAFER

ISBN 978-5-97060-831-9 (рус.) © Copyright, Dunod, 2019
ISBN 978-2-10-078942-9 (анг.) © Оформление, издание, ДМК Пресс, 2019

Содержание







Введение

Большинство людей не знают, но более ста лет назад ученые обнаружили странный континент, на котором росли очень странные деревья. На этом континенте яблоко не обязательно падало: иногда оно парило в воздухе, деформировалось, раздваивалось или выбирало случайное непредсказуемое место. Вокруг него время может ускориться или даже вовсе остановиться. Более того, это яблоко по сути сделано из пустоты.

Где же находится этот мир, где яблоки не всегда падают?.. Это же наш мир! Наши чувства обманывают нас: вселенная — это не то, как мы ее воспринимаем. Показывая повседневную жизнь обычных землян, таких как мы, данный графический роман объясняет эту удивительную скрытую реальность: ту, где время переменчиво, масса пуста, пространство противоречиво, а кванты непредсказуемы. Это легкое, интересное и веселое путешествие. И в то же время оно скрупулезно и опирается на труды многих выдающихся исследователей и физиков.

Итак, время отправляться в дорогу. С этого момента вы больше не будете ускользать от разговора, когда кто-то в компании говорит слова типа «квант» или «относительность». Кстати, этим кем-то можете стать и вы в недалеком будущем.

Пролог

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

«Мировоззрение классической физики приблизительно. Теперь мы знаем, что это мировоззрение “в корне неверно”».

Брюс Розенблюм и Фред Каттнер,
физики, Университет Калифорнии



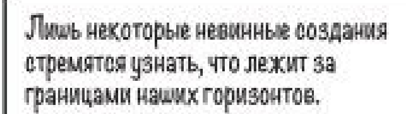

Мы, земляне, понимаем наше существование только в горизонтальной плоскости... Это странно.
– Смотри, чтобы он не перегрелся!
– Главное – следить за цветом!
– Ему нужно хорошо прогреться.


Мы то вглядываемся в горизонт в надежде узнать будущее, то иногда спорим о лучшем способе приготовления мяса.
– Секрет в правильном звуке. Он должен шипеть и плеваться.


– Не плевать на шашлык!
– Смотри, чтобы огонь не касался мяса!


Мы редко думаем о том, что находится над нами, кроме случайных мимолетных мыслей.
– Ммм... Кажется, тучки набегают.
– Какая удача, что мы все высококвалифицированные шеф-повара в области шашлыка!


– Ммм... Кажется, тучки набегают.
Думаешь?
– Мы просто герои решетки и лопатки!

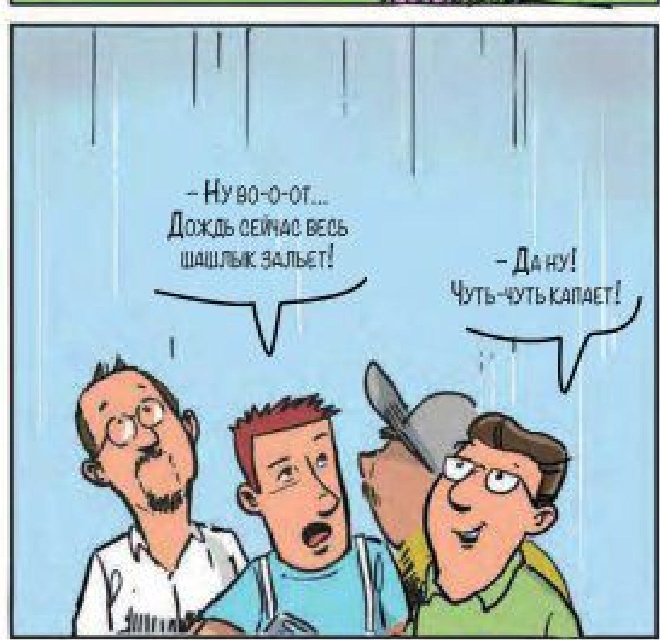

Лишь некоторые невинные создания стремятся узнать, что лежит за границами наших горизонтов.


??


– Тётя, расскажи, что там наверху? Оно светится...
– Это... ммм... звезда...


– Это не планета?
– Э-э-э... Возмо-о-ожно.
– Она далеко?
– Мм... Да.
– Сколько ей лет?
– Что такое «бесконечность»?
– Э-э-э-э...


Но большинство из нас не хотят разбиваться об эту головокружительную экзистенциальную стену.
– Она... ммм... Ух ты! Красивый мишка! Это твой?


– Ну во-о-от... Дождь сейчас весь шашлык зальет!
– Да ну! Чуть-чуть капает!


И вскорости мы возвращаемся к своим ежедневным заботам.
– Он будет недолгим.
– Я в телефоне посмотрел.





Облака, дождь, солнце. Это все, о чем мы думаем, когда говорим о том, что находится над нами, на небе и выше. В нашем маленьком безопасном мирке мы непроизвольно продолжаем жить между бесконечно большим и бесконечно маленьким. Как кусок сыра под стеклянным куполом.

Но сыр, купол и каждый из нас принадлежат большему целому, в котором наука только начала ориентироваться и исследовать. Его правила увлекательны, захватывающи и невероятны. И мы подчиняемся тем же правилам здесь, на земле.

Глава I

ЭЛАСТИЧНОЕ ВРЕМЯ

«Внезапно время стало гибким, как резина».

Дэн Фолк,
автор фантастики

Забавный факт...

Когда ты на велосипеде...

...время на самом деле «замедляется».

Время идет более медленно, чем для того, кто сидит на месте.

Если бы человек, сидящий на скамейке, мог отчетливо видеть часы велосипедиста, он бы увидел, что они тикают относительно медленнее, чем его собственные.

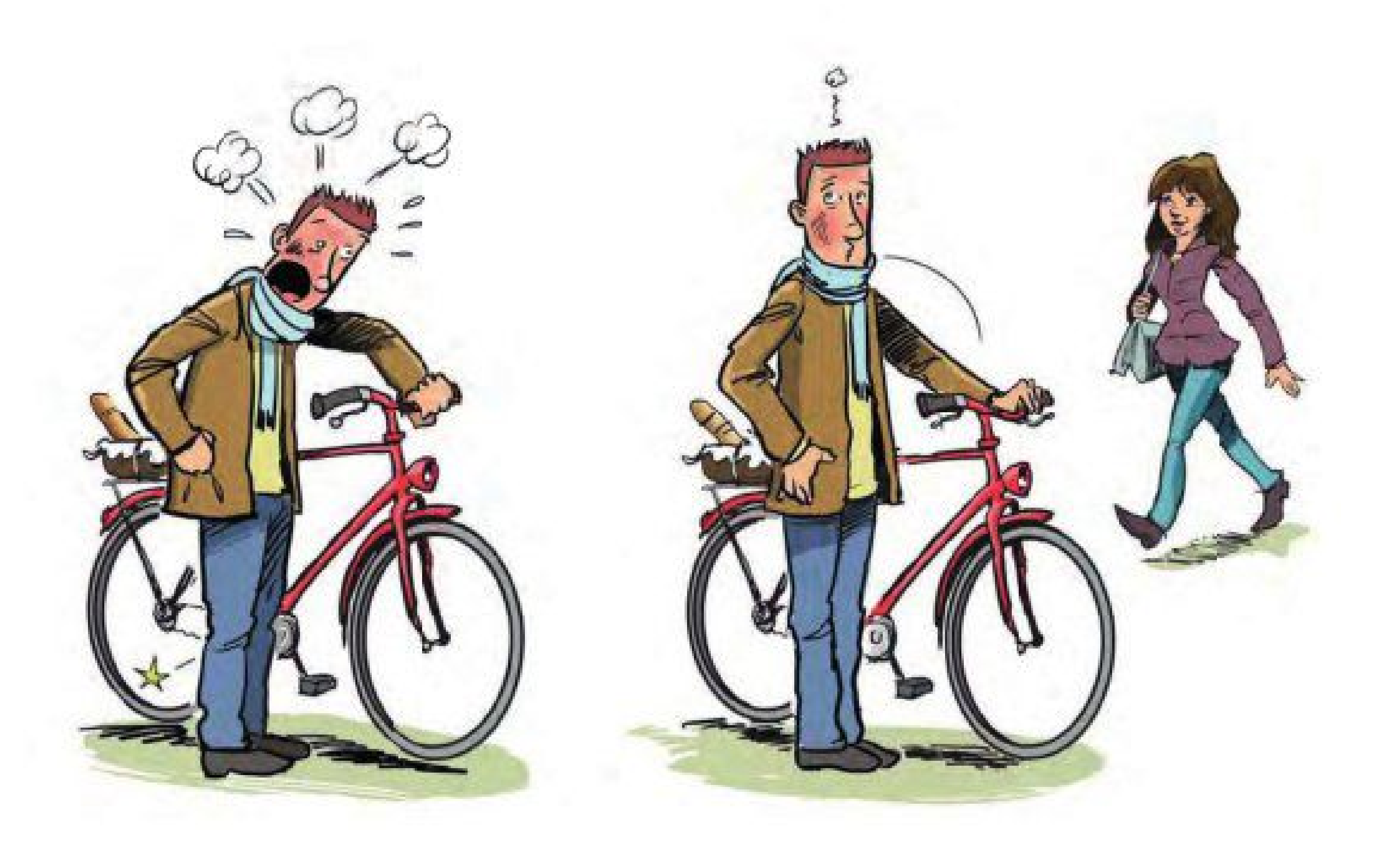


Чем быстрее вы двигаетесь, тем больше растягивается время. С точки зрения наблюдателя, скорость «замедляет» время!



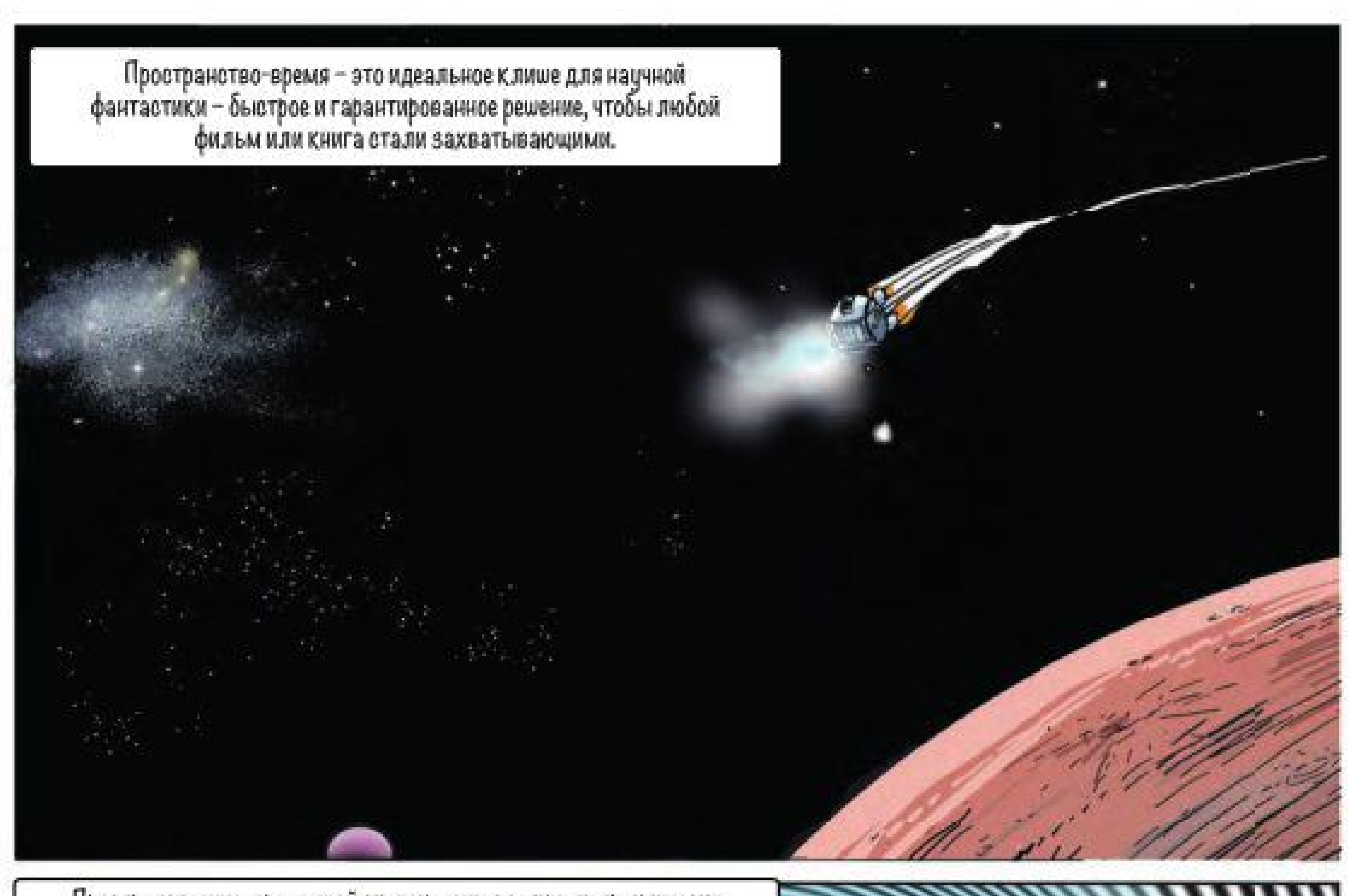
Пространство-время работает на нас: на велосипеде мы медленнее старимся!

Хотя обычно кажется наоборот!



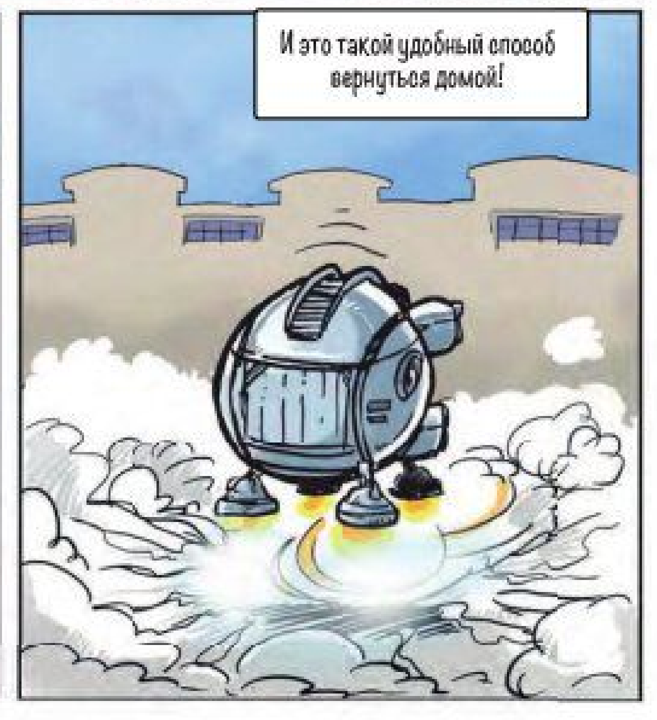

Но подождите-ка! Как мы к этому пришли? Как вообще велосипедист связан с пространством-временем?


Когда мы думаем о пространстве-времени,
мы обычно представляем что-то такое.


Пространство-время – это идеальное клише для научной фантастики – быстрое и гарантированное решение, чтобы любой фильм или книга стали захватывающими.


Пространственно-временной скачок может заткнуть практически любую дырку в сюжете.
А еще там будут красивые мерцающие спецэффекты!

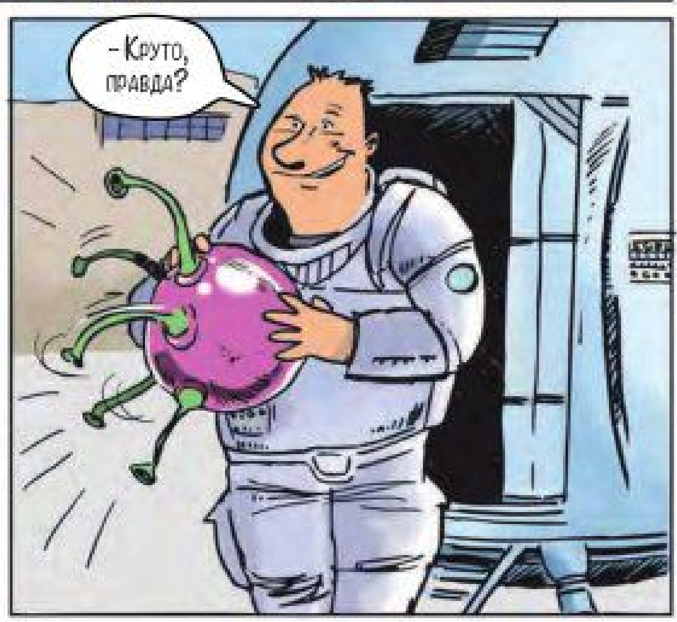

Как и фастфуд, его легко проглотить, но тяжело переварить.
Отрыжка
Отрыжка
Еще отрыжка


И это такой удобный способ вернуться домой!


– Привет, бро!
– Привет, прости... Я знаю, что опоздал на праздник.


– Я застрял на астральной кольцевой.
– Повернул не там, на съезде X25qw!!
– Эй, ты пропал на много лет!
– Глупо, знаю.


– Зато я тебе сувенир привез.


– Круто, правда?


– А это для чего?
– Ох... Ну... Я забыл спросить.
– Похоже на волынку.
– На что?!?
Рррррр.

«Пространство-время», когда оно не используется как научно-фантастическое клише, – это описание одной из самых умопомрачительных научных теорий о вселенной:

СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Давайте разберемся в ней, взяв случайную планету на самом краю межзвездного космоса:

Добро пожаловать на ЗГмоко!

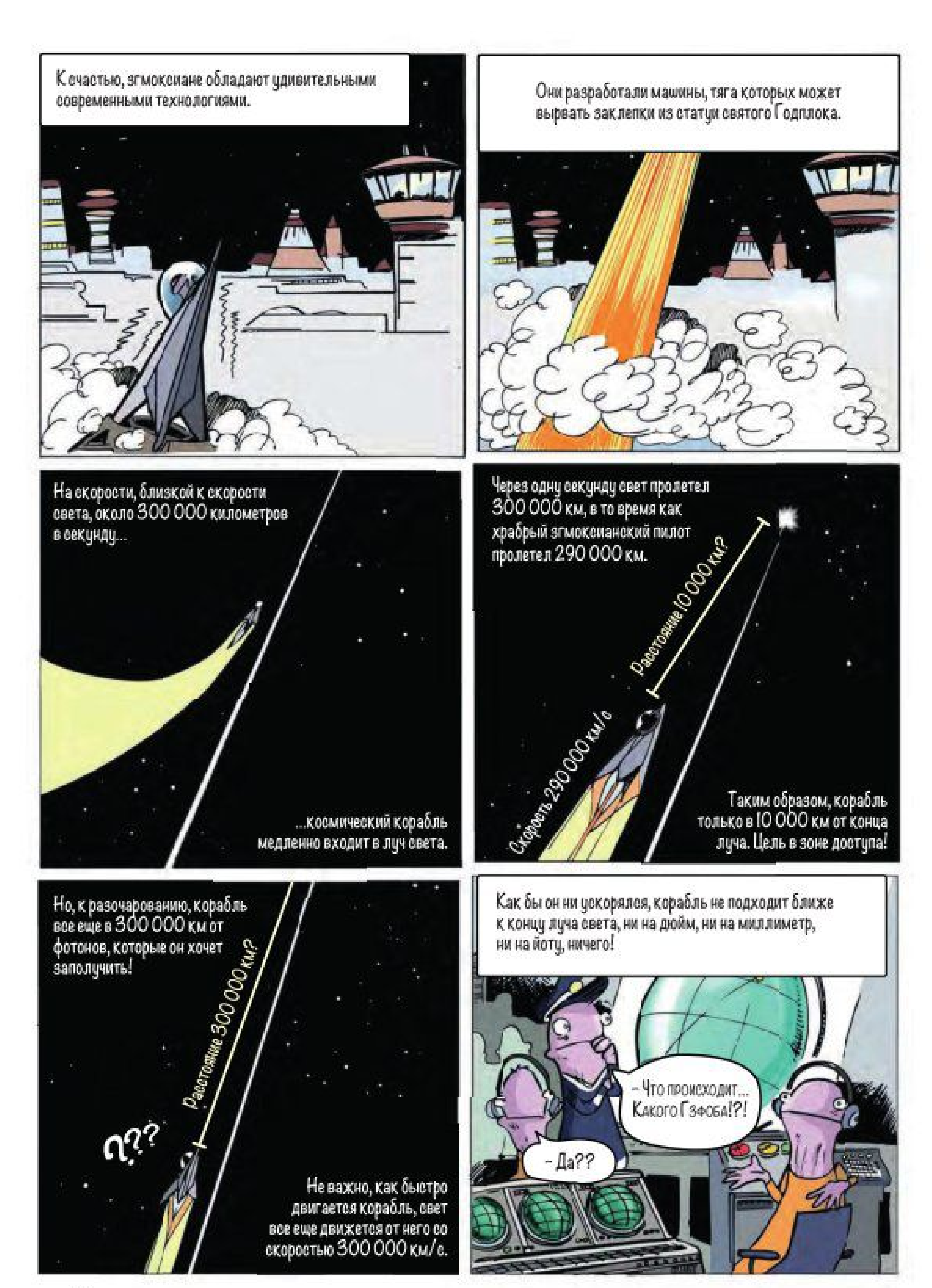


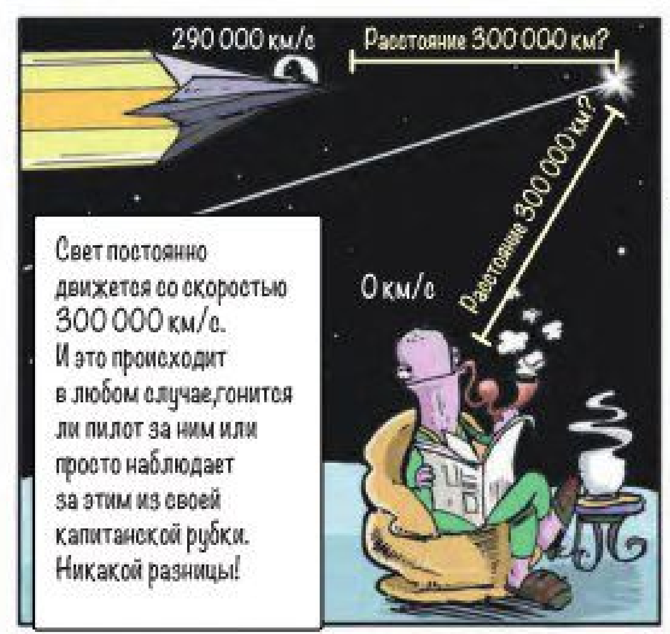








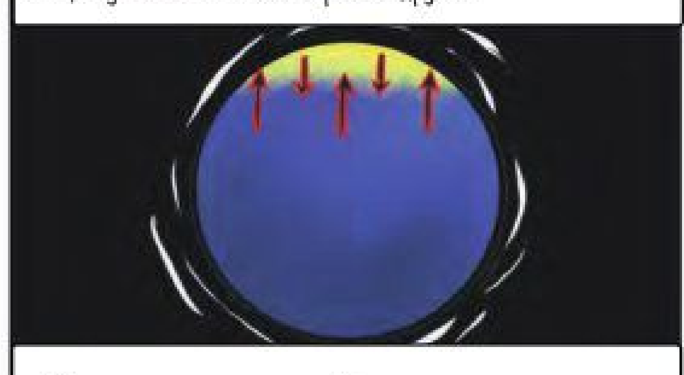

К счастью, згмоксиане обладают удивительными современными технологиями.
Они разработали машины, тяга которых может вырвать заклепки из статуи святого Годплока.
На скорости, близкой к скорости света, около 300 000 километров в секунду...
...космический корабль медленно входит в луч света.
Через одну секунду свет пролетел 300 000 км, в то время как храбрый згмоксианский пилот пролетел 290 000 км.
Расстояние 10 000 км?
Скорость 290 000 км/с
Таким образом, корабль только в 10 000 км от конца луча. Цель в зоне доступа!
Но, к разочарованию, корабль все еще в 300 000 км от фотонов, которые он хочет заполучить!
Расстояние 300 000 км?
???
Не важно, как быстро двигается корабль, свет все еще движется от него со скоростью 300 000 км/с.
Как бы он ни ускорялся, корабль не подходит ближе к концу луча света, ни на дюйм, ни на миллиметр, ни на йоту, ничего!
– Что происходит... Какого Гзфоба!?!
– Да??



Как это может быть правдой? Время и пространство – две стороны одной медали. Представьте нашу вселенную в виде сферы. Желтый представляет **скорость в пространстве**, синий – **скорость во времени.**



Время и пространство постоянно компенсируют друг друга: когда какой-либо объект снижает свою скорость в одном из них, он увеличивает свою скорость в другом!

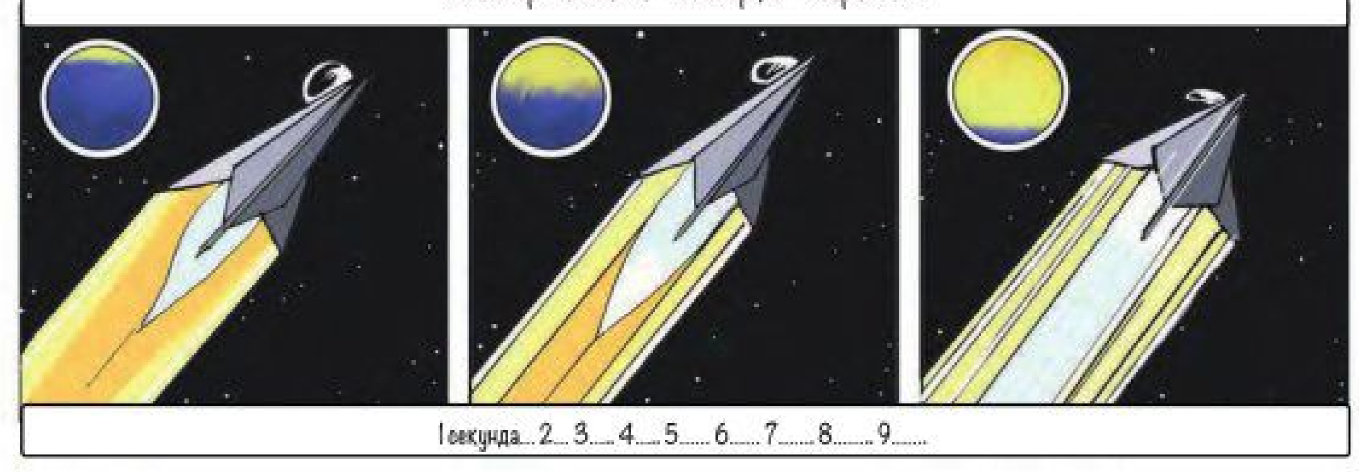


Сфера – это **сумма скоростей во времени и пространстве.** Эта сумма соответствует скорости света, которая является константой, то есть она никогда не изменяется.

Если объект ускоряется в пространстве, его скорость во времени замедляется: внешний наблюдатель может заметить, что часы объекта идут медленнее, чем его собственные.



Если бы этот внешний наблюдатель мог увидеть корабль, разгоняющийся в пространстве, он бы заметил, что секунды для корабля идут медленнее. Также можно заметить, что корабль «вдавливается» в уменьшенное пространство, и его инертная масса – его инерция – возрастает.



1 секунда... 2... 3..... 4..... 5...... 6...... 7....... 8....... 9.......





Диспетчерская вышка, наблюдающая за часами корабля, летящего со скоростью 261 000 км/с (87 % от скорости света), может заметить, что часы на корабле идут в два раза медленнее его собственных часов.

Другими словами, пока на диспетчерской вышке проходит два часа, на корабле проходит только один час.

Если бы скорость корабля достигла 98 % скорости света, то время на борту шло бы медленнее в пять раз! Два часа длились бы всего 24 минуты.

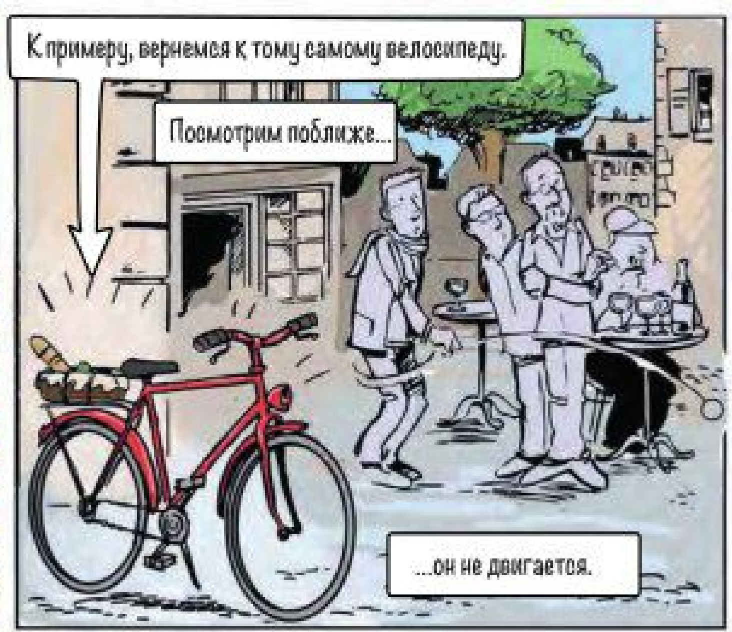


Чем больше вы ускоряетесь, тем больше замедляется время: чем больше территории мы захватываем у пространства, тем больше мы теряем во времени. Чтобы достичь конца светового луча, вам понадобится бесконечный запас энергии и бесконечное количество времени.
Свет двигается со скоростью 300 000 км/с.
Его скорость постоянна. А время – нет!

















Даже на велосипеде время замедляется. Оно становится медленнее всего на несколько миллиардных секунды, но это действительно происходит!


Автостопщик может заметить, что машина, движущаяся на скорости 100 км/ч, замедляется во времени на 0,0000041 наносекунды. На самом деле он может заметить, что часы в машине идут медленнее, чем его.
GENÈVE

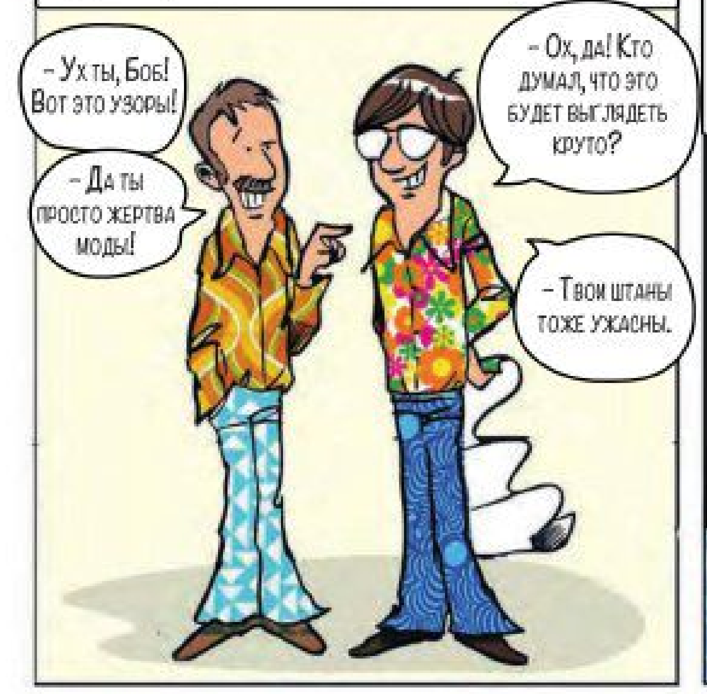

Все, что движется, теряет скорость во времени...
...по сравнению с неподвижным объектом.


Каждый из нас живет во временной реальности, отличающейся от других. Это не метафора. Так действительно обстоят вещи! Не существует универсальных часов: каждый из нас живет по своим собственным часам, и наше время идет по-разному относительно других людей.
Минус 0,0000028 наносекунды
Минус 0,0000007 наносекунды
Минус 0,000017 наносекунды
Минус 0,0000002 наносекунды

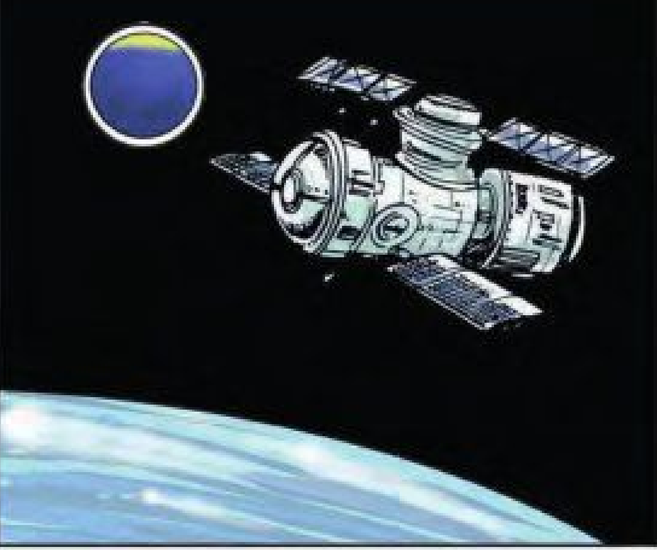

Не верите? В 1971 г. двое американских ученых впервые проверили специальную теорию относительности. Несколько цезиевых атомных часов были установлены на самолеты, летевшие вокруг света.
PAN


Часы на самолетах действительно замедлялись на несколько наносекунд!
Впервые человечество получило доказательство того, что мы свободны от временных рамок.

Вскоре человечество станет свободным от брюк клеш и широких воротников эпохи диско. Но это уже совсем другая история.



Самыми быстрыми искусственными объектами являются космические зонды: они достигают рекордных скоростей до 100 000 км/ч. Орбитальная станция достигает около 28 000 км/ч, ей требуется чуть более часа, чтобы облететь вокруг Земли. Таким образом, ее часы «теряют» 0,3 наносекунды.



Но в космическом масштабе мы похожи на астматических улиток. (И даже это может быть слишком большим оскорблением для улиток!) За одну секунду, за одно мигание глаза свет оборачивается вокруг Земли 7,5 раза. Это рекорд скорости всех времен!



Все на свете движется в пространстве и времени. Исключая свет, он один двигается **только в пространстве** на максимально возможной скорости. Поскольку свет не двигается во времени, он не стареет. Дальний конец светового луча не имеет возраста.



Означает ли это, что у света нет ни конца, ни начала? Если он не имеет возраста, то является альфой и омегой. Если так, конец светового луча может знать начало и конец «времен», от Большого взрыва до ближайшего будущего. Более того, кажется, что поток времени сам по себе является иллюзией. Вернемся к этому позже.

Пока что вернемся к нашей реальности. Кстати, тем, кто заметил эту странную связь между пространством и временем, был Альберт Эйнштейн. Попросите любого прохожего назвать имя одного известного ученого – и это почти наверняка будет имя Эйнштейна.



У Эйнштейна такая репутация, что цитирование его слов, не важно насколько это уместно, заставляет любое предложение звучать мудрее. Несомненно, существует несколько цитат великого физика... которых он никогда не говорил.



Глава 2

КАК МИР СТАЛ СТРАННЫМ

«Существует теория, которая утверждает, что если кто-то точно узнает, что такое Вселенная и зачем она существует, то она тут же исчезнет, и вместо нее появится что-то еще более странное и необъяснимое. Существует и другая теория, утверждающая, что это уже произошло».

Из «Автостопом по галактике» Дугласа Адамса

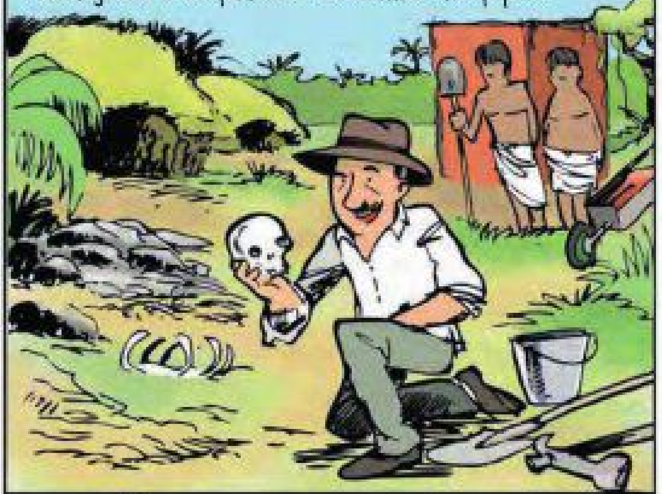


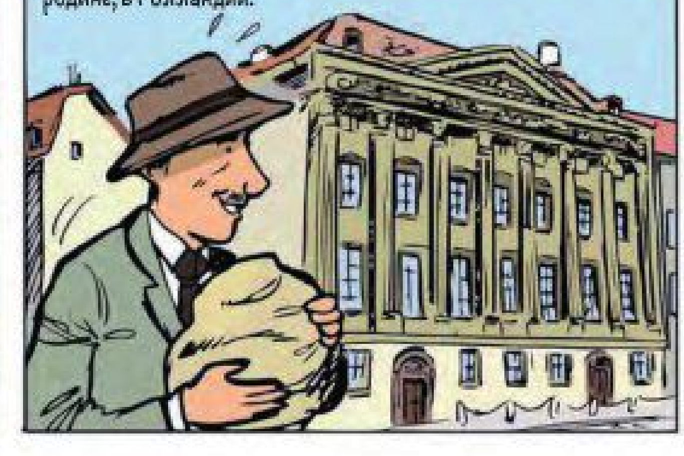










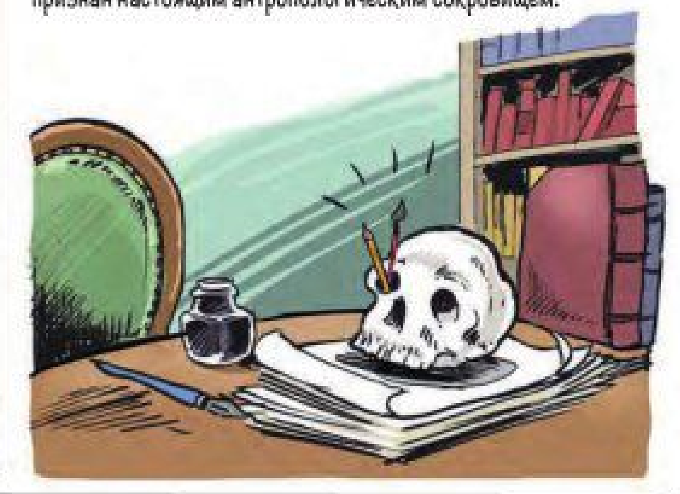


* Кто-то может сказать, что это, в общем-то, не изменилось.


Но гильдия палеонтологов приветствовала Дюбуа со всем энтузиазмом пациентов в отделении гастроэнтерологии, которым говорят, что сейчас они получат третью за день клизму.


Череп просто не подходил ни под одну из существующих классификаций. Это была веская причина проигнорировать находку.


Яванскому человеку пришлось ждать 60 лет, чтобы его наконец признали первым Homo Erectus. За это время в скелет успел превратиться и сам Дюбуа.


Хррр... Яванский человек не был единичным случаем. Первый череп австралопитека (ребенок Таунга) провел долгие годы в качестве пресс-папье, прежде чем был признан настоящим антропологическим сокровищем.


Вот так выглядел научный мир и его догмы в начале 1900-х. Академики украшали буржуазные салоны, культивировали национализм и делили награды, полагая, что мир раскрыл все свои тайны.

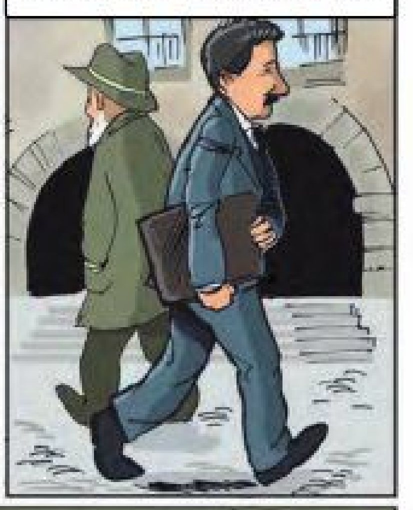




Все началось в 1905 году. Этот обычный маленький человек в своем обычном костюме перевернет все современное понимание физики.



Он уже два года работает в Федеральном ведомстве патентов в Берне. Его первая настоящая работа.



Альберт Эйнштейн чувствует себя спокойно в тихой Швейцарии – в отличие от его родной Пруссии, превратившейся в воинственного позера.



Эйнштейн любит разгадывать теории в области физики, как если бы они были патентами, зарегистрированными в Федеральном ведомстве: анализируя их едва различимые неточности.



Его коллега и друг Мишель Бессо помогает ему в исследованиях. Для Эйнштейна 1905 год станет *Annus Mirabilis*. Годом чудес.



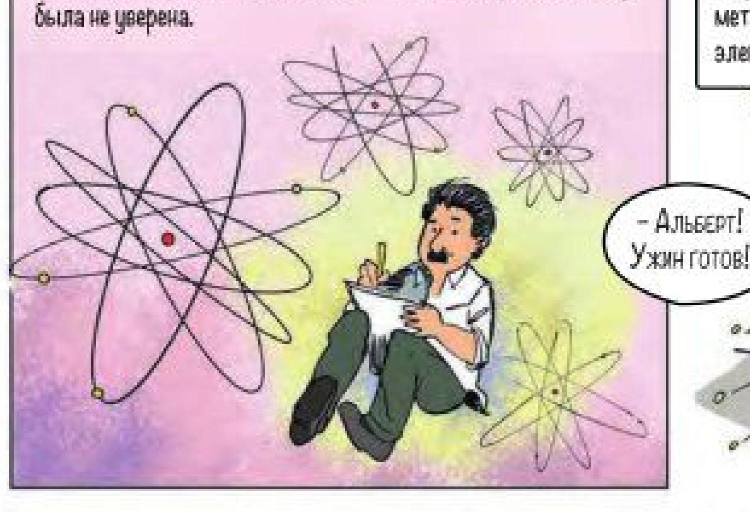
Этот «технический помощник третьего уровня» развивает четыре теории, каждая из которых является революционной: как если бы один человек одновременно открыл колесо, электричество, двигатель внутреннего сгорания и электронный чип...



В немецком журнале «*Annalen der Physik*» Эйнштейн раскрывает свою специальную теорию относительности и странное расширение времени, которое мы уже рассмотрели.



Затем он погружается в бесконечное малого. Его вторая статья доказывает существование атомов – то, в чем наука до сих пор была не уверена.



Третья статья: Эйнштейн обнаруживает, что свет движется «зернами» – или квантами – частиц. Когда они ударяются о металлическую поверхность, эти кванты фотонов генерируют электрический ток.

– Уже иду, Долли!

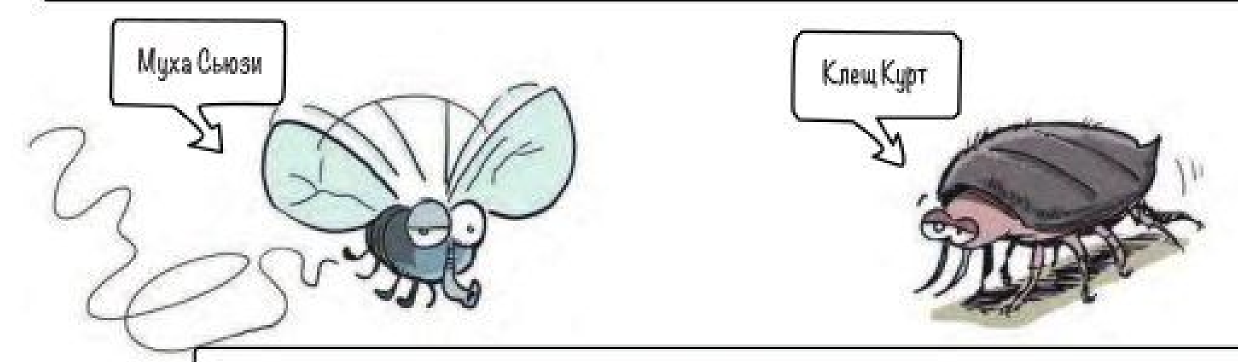
Своей теорией квантов света Эйнштейн помогает основать то, что станет квантовой физикой. Его идеи почти на двадцать лет опережают свое время. Итак, можете себе представить, что в 1905 году блестящие находки Эйнштейна повергли научное сообщество в океан путаницы.



Четвертая статья года чудес Эйнштейна была опубликована в ноябре 1905 года. В ней описывается соотношение массы и энергии, выраженное равенством, которое станет самым известным уравнением всех времен.



И теперь, спустя десятилетия два совершенно особенных насекомых собираются показать это уравнение нам. Познакомьтесь с мухой Сьюзи и клещом Куртом, которые станут случайными актерами этой научной демонстрации.



Они могут выглядеть так, будто больше хотят почесаться, чем медитировать на взаимодействие массы и энергии, но эти насекомые все еще собираются показать нам путь к $E = mc^2$.

Глава 3.

СИЛА ВНУТРИ НАС

«E = mc^2 – это табличка на двери, ведущей в новую реальность, которая отличается от той, что мы знаем».

Кристоф Гальфар, физик




Сьюзи беспечно приземляется на эту книгу. В то же самое время Курт сильно чихает. Вибрации швейной машины возле шкафа добавляют последний штрих для дестабилизации...


...которая заставляет забытую книгу упасть. Хороший объем ин-кварто, кожа, переплетный картон. Твердое вещество.


Мы давно знаем, что движущийся объект наделен тем, что называется **кинетической энергией**.
– Ты как?? Не поранился?


В этом случае энергии достаточно, чтобы стукнуть вас по голове.
– Забавно! Она открылась на главе «Излечите свою мигрень»!
– Мне совсем не смешно.
Мы думали, что, находясь в состоянии покоя, объект не имеет какой-либо другой энергии.


На самом деле эта неподвижная книга полна **чудовищной** энергии...
...которой хватит, чтобы обеспечить электричеством целый город – такой, как Париж с его пригородами, – в течение года!
Она гласит: $E = mc^2$.

Звучит странно, но это очень просто. $E = mc^2$ дает нам энергию, содержащуюся в, например, массе книги, которую вы держите. Да, этой книги. Для простоты предположим, что она весит один килограмм.

E – это чистая энергия. По определению, эта энергия электромагнитная и измеряется в джоулях.

M – это масса, измеряемая в килограммах.

C – это скорость света (300 000 км/с), скорость, с которой движется электромагнитная энергия (E).

$E = MC^2$

Природа движущейся энергии необычна. Она любит «возводить в квадрат». Представим себе маленькую катапульту, запускающую камень.

Чтобы кинуть этот камень в три раза дальше, нам нужна катапульта не в три раза, а в девять раз более мощная. Кинетическая энергия вычисляется с помощью возведения в квадрат скорости объекта – это факт, известный с XVII века.

Итак, какова энергия, заключенная в книге весом в один килограмм? Мы просто должны применить формулу $E = mc^2$, то есть $E = 1$ кг × 300 000 × 300 000 = 90 000 000 000 МДж. Это эквивалентно 25 000 ГВт/ч – годовому потреблению электроэнергии в городе с 12 млн жителей, как Париж или Лондон. Или 20 000-килотонной тротиловой бомбе! И мы говорим здесь о килограммах ЛЮБОГО материала или вещи, так что...







Кроме того, мы используем $E = mc^2$ каждый день, даже не зная об этом.

Этот двигатель сжигает бензин. Энергия возникает в результате **химического** преобразования небольшой части массы топлива.

Батареи преобразуют долю своей массы в энергию. Лишь ультраточные весы могут показать, что они весят чуть меньше после того, как отработают.

SUPERMAN SUIT

SCAN

Даже наши мысли основаны на химических реакциях, которые преобразуют небольшую массу в энергию.

– Грр... Не сейчас!

– Что?! Только не говори мне, что ты оденешься Женщиной-кошкой!





Чтобы получить суперспособности, вам нужно будет только всасывать энергию, содержащуюся в нескольких ядрах наших атомов, разбивая или расплавляя их. **Ядерная реакция** (что означает «из ядра») создает в миллион раз больше энергии, чем **химическая реакция**, например горение.

– Ок'ей, куда его поставить?

– Чуть левее.

– Ммм... Нет, пожалуй, правее.

Мой костюм может сам менять цвет.

– Переработал немного жира! ...Хорошая штука, а то я малость проголодался.

Но этого не случится в ближайшее время. Поскольку атомы, из которых мы сделаны, **очень**, очень стабильны.

– Итак, с твоими суперспособностями ты можешь передвинуть дерево в саду!

– А что-то полезное, вроде спасения мира, тебя не привлекает?

– О-о-оу? Снова обсудим твой «гигантский шашлык»?!! Это уже классика!

Тем не менее к 1895 году люди уже знали, что некоторые элементы, такие как уран, имеют нестабильную атомную структуру. Эти элементы медленно распадаются, порождая естественную **радиоактивность** (что значит «производить радиацию»).

– Кто испортил мои фотопластины??

– Это он, мистер Беккерель!



* О нейтронах и строении атомов мы поговорим в главе 5.

Но есть и способ получше! Возьмите два атома водорода и хорошенько их подогрейте.

Они сплавятся при 15 млн градусов.

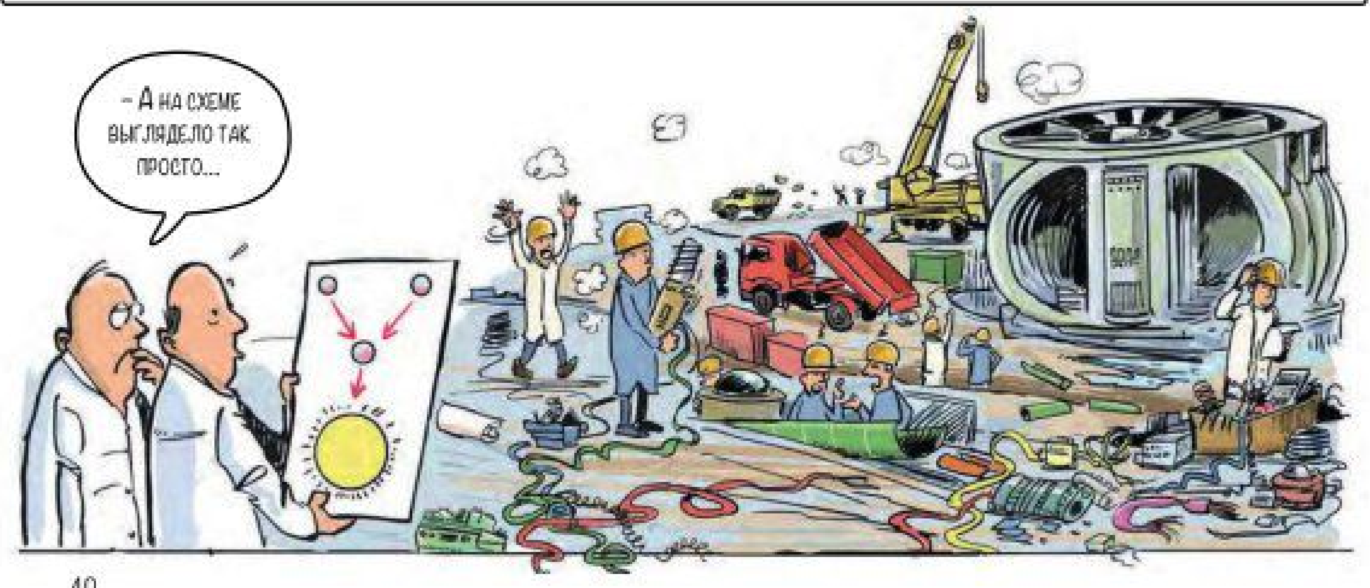
Вы получите атом гелия, который чуть легче, чем два атома водорода.

Эта небольшая часть массы, потерянная в процессе слияния двух атомов, преобразовалась в чистую энергию.

И какую энергию!

Это то, что пылает в двигателе нашей Вселенной, великой фабрики космоса, включая и наше Солнце.

Это так называемый **термоядерный** синтез, который является для энергетических исследователей тем же, что философский камень для алхимиков, это святой Грааль энергии. Прототип реактора под названием Tokamak ITER строится во Франции, в результате международной исследовательской программы, которая до сих пор в значительной степени является экспериментальной.




В это самое время солнце превращает 620 млн тонн водорода в 615 млн тонн гелия каждую секунду. Разница в массе – 5 млн тонн – превращается в чистую энергию, которая поддерживает жизнь на Земле.
– О, вот и мини-автобус!
– Готовы? О, классный костюм!
– Спасибо.
– ...Я не о твоем.
– Эй, что это? Тема была «супергерои».
– Это Марсупилами, символический персонаж комиксов. У него есть исключительные способности... Как и у супергероев!
– Ммм... Ну, если так посмотреть...
– Арр! Кто встал на мой плащ!


– А ты знал, что у каждого из нас внутри скрыта необычная потенциальная энергия?
– Наша масса равна чистой энергии.
– Знаешь формулу $E = mc^2$?


– Ладно, ты меня раскусил. Скажу тебе правду... На самом деле я под прикрытием. Это мой настоящий супергеройский костюм!




Я заметил, что ты уже две минуты пытаешься открыть эту банку с огурцами. Как-то не по-супергеройски, мм?
– А-ха-ха, не совсем. Я проверяю, плотно ли она закрыта.




– Эй, странный костюм... Ты кто-то вроде Супербашнямэна?


– Ну чего?! Это был костюм лука для вечеринки "фрукты и овощи».
– Я добавил плащ и подплечники.


– Никогда не слышал о Марсупилами?


– Суперженщина?!


– Мы знакомы?
– Ну конечно! Я ваш будущий муж!
01.00


02.00
RE A-HOLDING MY HAND I'LL KEEP YOU BY MY SIDE
WITH MY SUPERHUMAN MIGHT KRYPTONITE
– И я ему... такой... говорю...
– Марсупилами, блин!


03.00
– Ну, ты что, тупой?
– Он в костюме Марсу... чего-то там еще...
– ...Пилами!!


– Ох... Этот маскарад... Я не фанат.
– Да? Ты вроде был веселый...


– А-а-а-а-а-ахxxxx! Прощай, Супермен!


– Но я еще... бодр... Полон... энергии...
...потенциальной...
Мммбрр...


– Даже Супермену нужен отдых! Спи сладко, мой герой...


Хррр...

Глава 4

ИСКРИВЛЕННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

«Пространство-время может изгибаться, складываться, оборачиваться вокруг мертвой звезды и исчезать в черной дыре. Оно может трястись, как живот Санта-Клауса, излучать волны гравитационного сжатия или крутиться, как тесто в Миксмастере».

Деннис Овербай, автор фантастики




Время прилива – хороший момент, чтобы поймать большую, хорошую рыбу!
Луна притягивает воду силой своей гравитации.
– Тебе не кажется, что Бастиан еще маленький для слова «гравитация»?
– Пусть привыкает к нему, пока маленький.
– Кто знает, может, у нас растет будущий гений...
– ...и вообще, это я рассказываю сказку. Поэтому буду делать то, что хочу!
Внезапно случается невероятное: Луна исчезает!
Вслед за этим уровень воды быстро падает! Потому что Луны больше нет!
– Ты сказал «быстро» – на самом деле это было бы немедленно и мгновенно!
– Э-э... Не вижу разницы. Уровень воды немного упадет после того, как исчезнет Луна, нет?


– В любом случае, твоего маленького племянника Бастиана это совсем не волнует!
– Еще, еще!
– Смотри, как ему нравится! Он любит сказки!
– Да, пап, но тем не менее...
– Уровень воды упадет в то же самое время, как исчезнет Луна. А не потом.
– Ну ладно, маленький Эйнштейн. Тебе заняться больше нечем?
– Иди, поиграй в своих пони.
– Ну вот... Страницу потерял...
– А я тебе говорю, ты даешь ребенку предвзятые положения!
– Да, верно... Между тем, Люс, напоминаю тебе, что мы скоро собираемся в горы. Не забудь собрать сумку.
– Ох, Бастиан! Как же ты это сделал?
– Вот скажи мне... Уровень воды падает немного позже или в то же самое время. Ты видишь какую-нибудь разницу?
– Это просто гравитация! Ньютон, падающее яблоко... Это то же самое.
Пуф


Бастиан, ты жертва гравитации!
– Ха-ха-ха… Нельзя недооценивать падающее картофельное пюре.
– Если бы тут был Ньютон, он сказал бы то же самое!


В 1692 году английский физик Исаак Ньютон – отец классической физики – определил принципы гравитации. В двух словах: все тела притягиваются друг к другу пропорционально своей массе и мгновенно!
– Исаак. Рад познакомиться.
– Вы в МОЕЙ лодке!
– «Исаак. Рад познакомиться» – странное имя.


– Нет, нет, Исаак «Ньютон»... Я открыл закон гравитации! Тот, что заставляет яблоки падать.
– ...или притягивает Землю к Солнцу.
– Круто! А как это работает? С помощью кабеля?


На самом деле Ньютон не знал, как Луна или Солнце, находясь в 150 млн км, могли **немедленно** влиять на Землю.
– Хм... Брм... Давайте не будем углубляться в детали.
– Хе-хе.
– Что вы конкретно хотите поймать?


Но мгновенное влияние означало бы, что это было бы быстрее, чем свет! Это противоречит специальной теории относительности Эйнштейна.
??
Пуф


– У нас небольшая проблема.
– Мистер Ньютон, как я догадываюсь?
– Да что ж ты будешь делать! Это лодка или вокзал?!


– Свету нужно 1,5 секунды, чтобы добраться от Луны до Земли, а НИЧТО во вселенной не может двигаться быстрее света!


– Простите, но гравитация МОЖЕТ. Она действует без промедления. От Луны – за ноль секунд.
?#%!!



Особая теория относительности Эйнштейна противоречила физике Ньютона, потому что она не включала в себя один существенный элемент – гравитацию.



Как гравитация могла действовать мгновенно в пространстве, будучи быстрее света? Этот вопрос преследовал Эйнштейна. В 1915 году, после восьми лет терпеливых исследований, он публикует свою теорию общей теории относительности, которая была открыта благодаря математическим расчетам настолько же, насколько блестящей интуиции. Если бы Эйнштейн не обнаружил ее, мы, вероятно, все еще ждали бы ее сегодня.

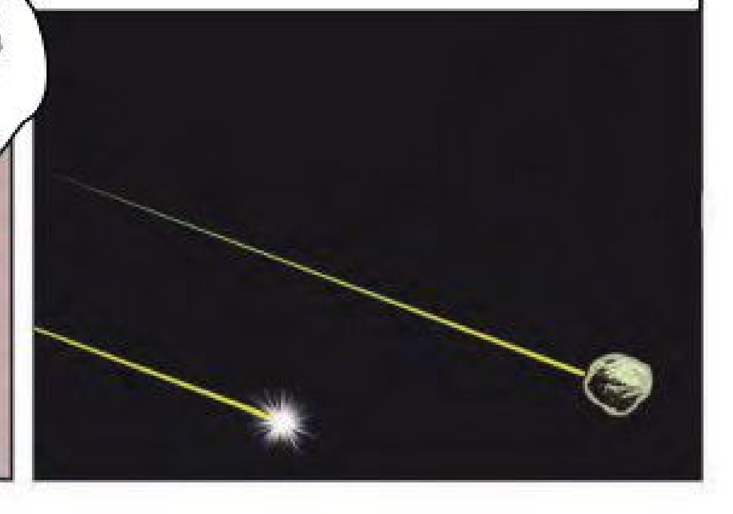


По сути, физик утверждает, что гравитация – это искривление пустоты пространства.

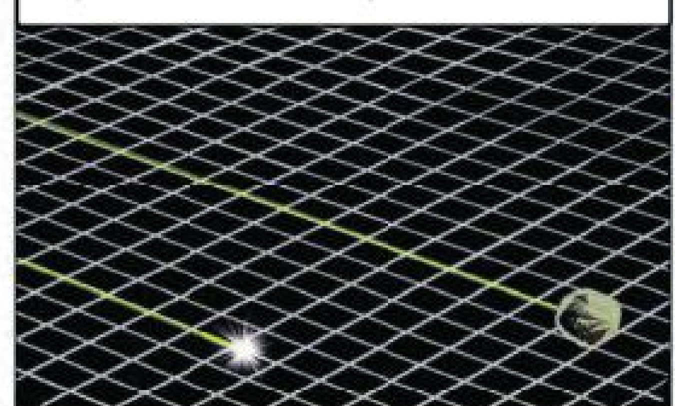


...вызвав этим недоверие и даже сарказм.

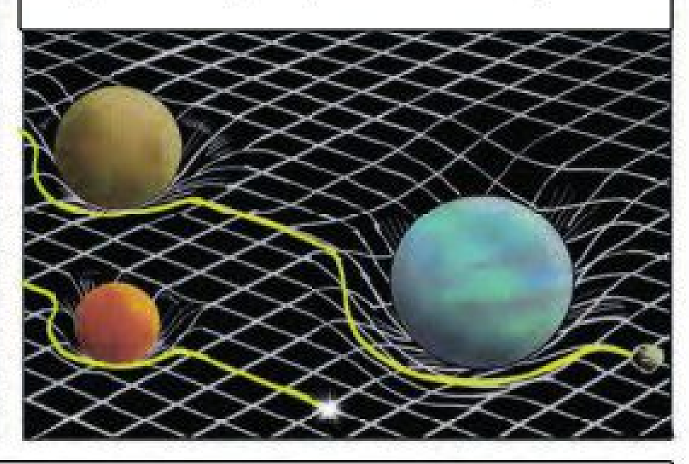
Чтобы понять суть общей теории относительности, давайте визуализируем пространство-время – пустое – пересекаемое только лучом света и астероидом.



Теперь предположим, что эта космическая пустота на самом деле представляет собой плоскую поверхность, похожую на стол, по которому объекты будто бы катятся по прямым траекториям. Теперь все меняется, если мы добавляем различные виды объектов, гораздо более массивных...



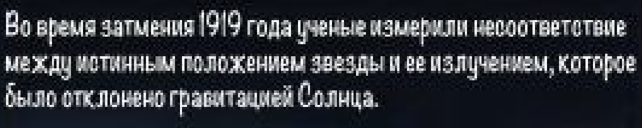
Они создают что-то вроде углублений, как тяжелые шары, тонущие на мягкой поверхности. Масса этих небесных тел искривляет пространство-время, создавая гравитацию, которая отклоняет траектории объектов и даже лучи света.

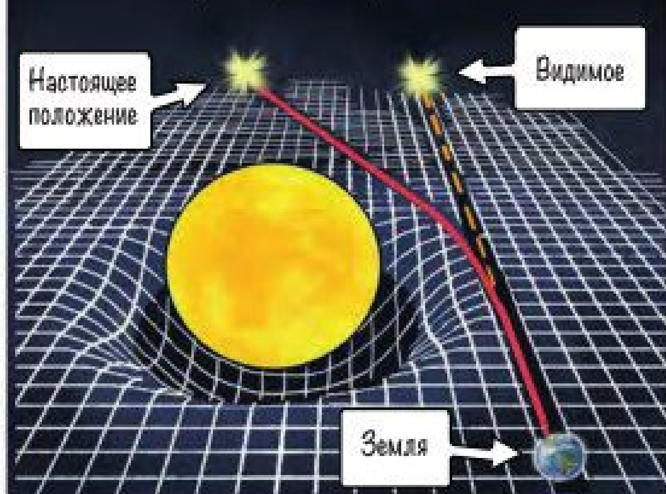


Итак, Вселенная – это гигантский **продавленный матрас**, искаженный массой миллиардов небесных тел, которые его формируют. Гравитация не движется быстрее света в пустоте, потому что это пустота, которая интегрируется в ткань пространства-времени, как сетка в трикотажном полотне. Гравитация и пространство – это одно и то же! Так что в некотором смысле гравитации не существует: то, что притягивает планеты и звезды, – это искажение пространства-времени. Или может быть... гравитация существует, а пространства нет? Поговорим об этом позже.

Звезда – белый карлик, маленькая, но тяжелая.

Теория Эйнштейна подтвердилась в 1919 году. Благодаря... солнечному затмению.



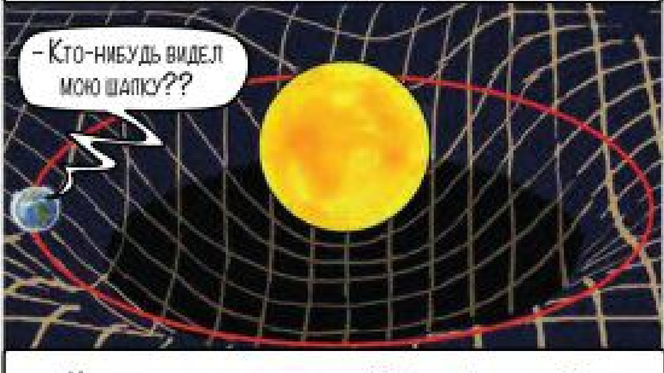




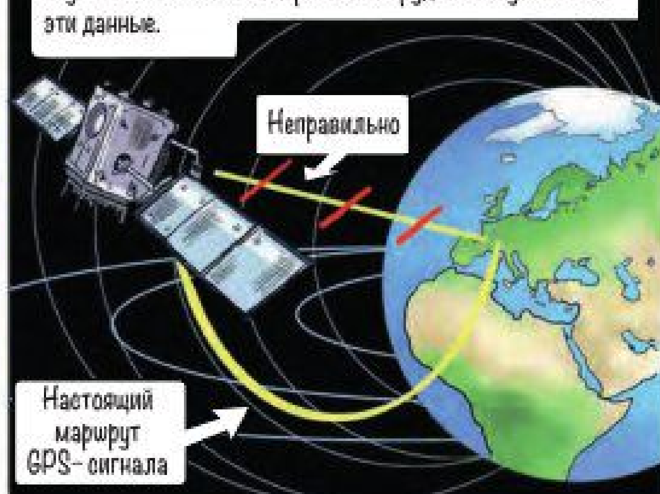


– Чувство юмора будущего физика, мне кажется.

Солнце удерживает Землю на орбите благодаря своему гравитационному искривлению. Центробежная скорость нашей планеты компенсирует эту силу притяжения.



Немного похоже на стеклянный шарик, вращающийся в бесконечном движении по краю чаши.









Гравитация искривляет пространство... и время! Помните, что пространство и время тесно связаны. **Чем сильнее гравитация, тем медленнее идет время.** Значит, из-за высоты в горах гравитация становится слабее. Поэтому время в горах должно «течь» быстрее, чем на уровне моря. Именно так и происходит.



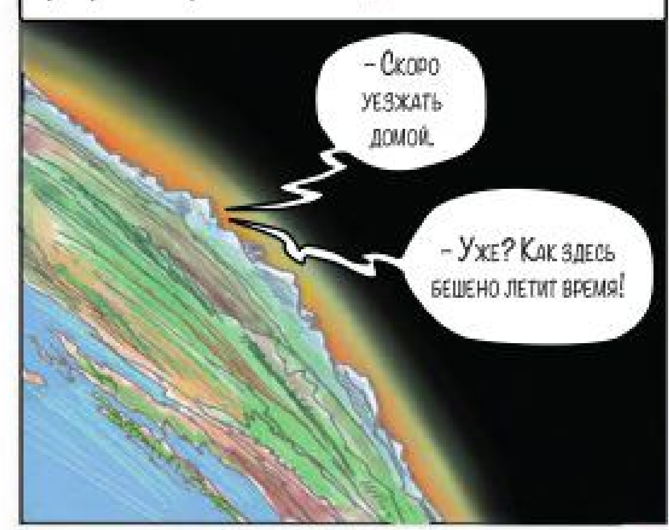
Например, в Боулдере, штат Колорадо, был проведен эксперимент на высоте 5300 футов над уровнем моря. Часы здесь идут быстрее на пять микросекунд в год. Обратите внимание, что на высоте мы еще и весим меньше.

Здесь время идет медленнее...

– Сделайте разворот как можно скорее.

...чем здесь, наверху.

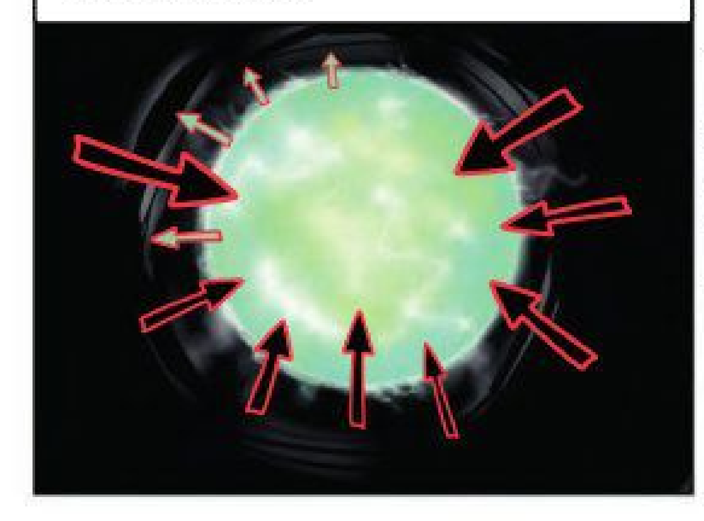

– Ахххх, горы! Тишина и покой. Единение с природой!
– Кажется, тут мы не единственные поселенцы.
– Ммбр...
"Cozy Pines" Residency.Soon!
Hotel The Happy Fleece
– Я взяла фотоаппарат.
– О, он еще работает?
Суббота
Воскресенье
Вторник
Четверг
Пятница

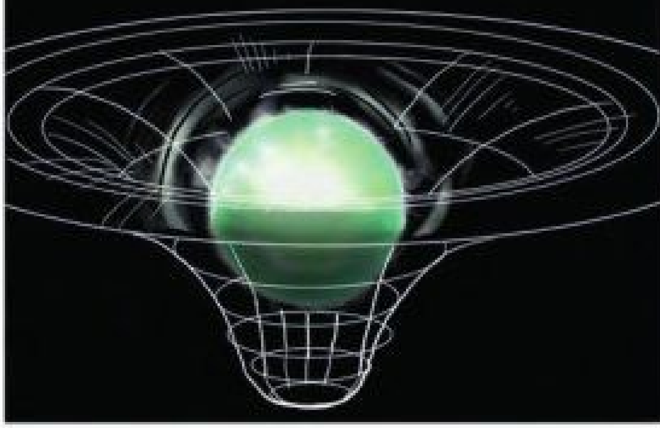

Чем массивнее небесное тело, тем больше оно искривляет пространство-время. Хотя Земля довольно массивная...
– Скоро уезжать домой.
– Уже? Как здесь бешено летит время!


...наша планета смехотворно маленькая в сравнении с Солнцем, которое в миллион раз больше!

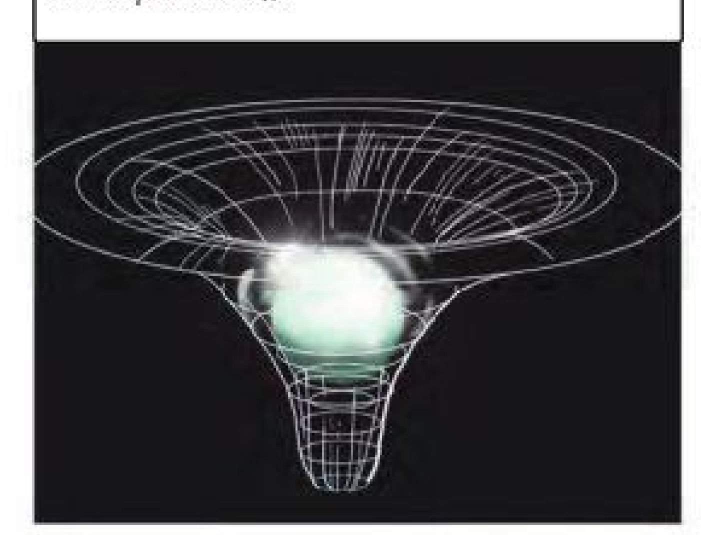

А Солнце – карлик в сравнении со звездами, которые могут быть в сто раз более массивными.
Сделайте разворот как можно скорее.


Любая звезда находится в состоянии гидростатического баланса.
Термоядерное тепло, давящее изнутри...
...смещается внутрь огромными гравитационными силами.


Но когда в звезде заканчивается топливо, баланс нарушается. Звезда начинает сдавливаться под весом собственной гравитации.


Обрушиваясь сама на себя, звезда уплотняется и все больше изгибается в пространстве-времени, словно шар, становящийся все более массивным и медленно погружающийся в продавленный матрас Вселенной.

Она может стать сверхплотной звездой, как *белый карлик* или *нейтронная звезда*.



Самые массивные из них превращаются в черные дыры. В соответствии с принятой в настоящее время теорией это породило бы бесконечный колодец!



Предположим, что наша черная дыра выглядит как водоворот на водной глади. Лодки представляют собой лучи света. Ни один внешний наблюдатель не может видеть, что происходит за красной линией, горизонтом событий.

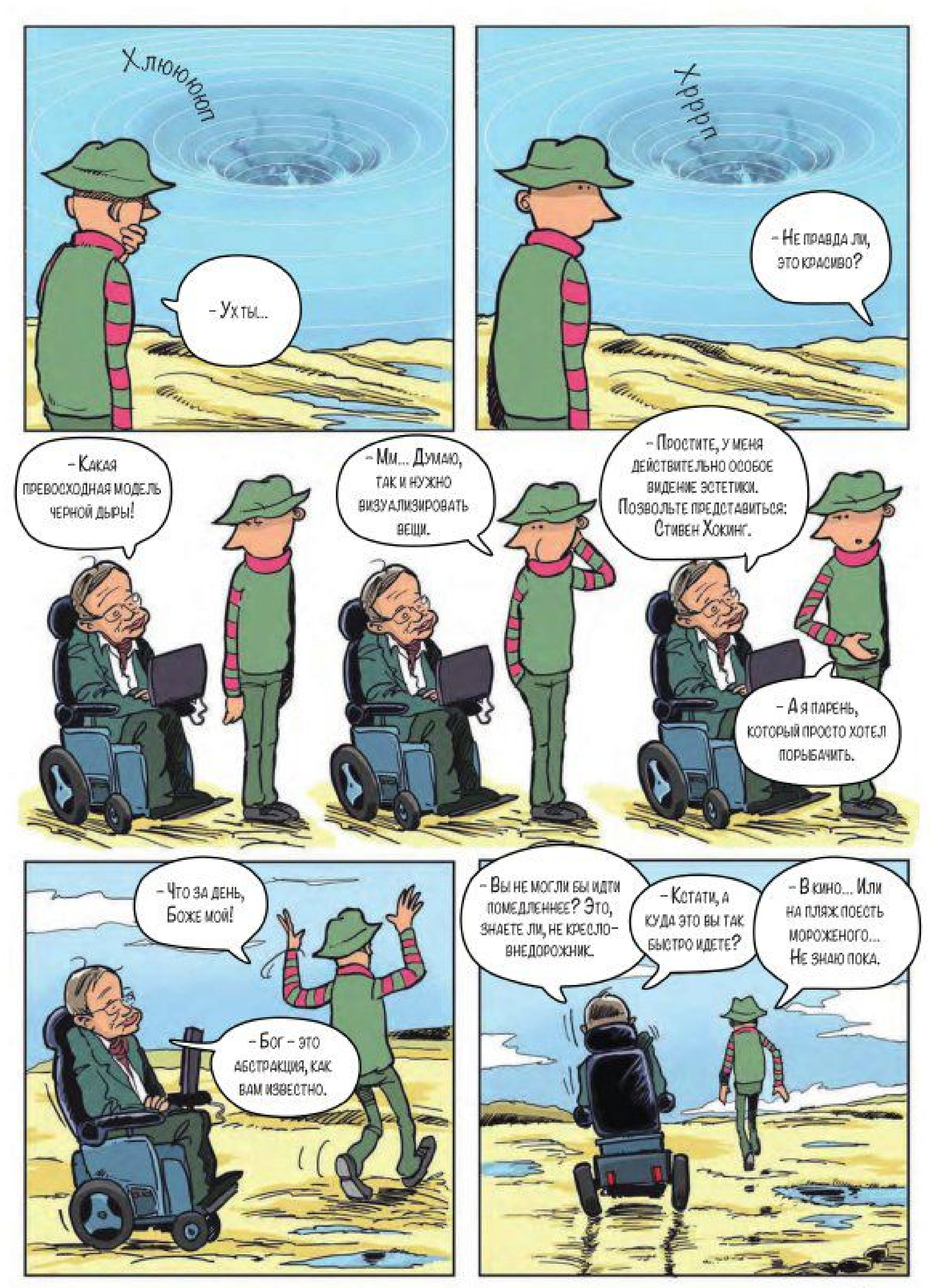
Горизонт событий

Свет неподвижен, заморожен во времени и пространстве.

Свет, которому удается избежать гравитационной силы черной дыры.

За «горизонтом событий» ничто не может избежать попадания в дыру, поскольку для этого нужно двигаться быстрее скорости света, что в принципе невозможно.

В «сингулярности», или условно бесконечной пространственно-временной кривой, нет дна.


Хлюююююп
– Ух ты...
Хрррп
– Не правда ли, это красиво?
– Какая превосходная модель черной дыры!
– Мм... Думаю, так и нужно визуализировать вещи.
– Простите, у меня действительно особое видение эстетики. Позвольте представиться: Стивен Хокинг.
– А я парень, который просто хотел порыбачить.
– Что за день, Боже мой!
– Бог – это абстракция, как вам известно.
– Вы не могли бы идти помедленнее? Это, знаете ли, не кресло-внедорожник.
– Кстати, а куда это вы так быстро идете?
– В кино... Или на пляж поесть мороженого... Не знаю пока.

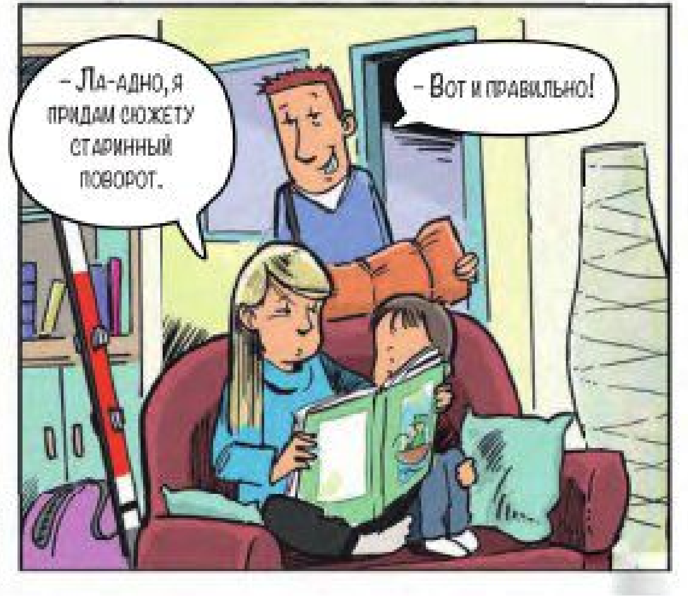

– Какое странное место! Мы что, попали в параллельную реальность? Это было бы подтверждением теории Эверетта о множественности миров.
– О, это здорово. Рад за него!
– Передайте привет мистеру Эверетту от меня!


– Вы когда-нибудь слышали о запутанности?
– У вас, к тому же, странная расстановка приоритетов!


– И тогда рыбак сказал: «Вот как на деле ваша запутаница поможет мне найти новую лодку?»


– «Запутаница»? Что?
– Бастиан хотел дослушать сказку.
– Ты как будто придумываешь на ходу. Так?


– А ты бы как хотел? «Они поженились и усыновили много детей?»


– Ла-адно, я придам сюжету старинный поворот.
– Вот и правильно!




«Рыбак нашел лодку еще больше и краше прежней. Он позвал своего нового друга Стивена порыбачить. И они наловили много-много рыбы!»

Глава 5

МИР, СОСТОЯЩИЙ ИЗ ПУСТОТЫ

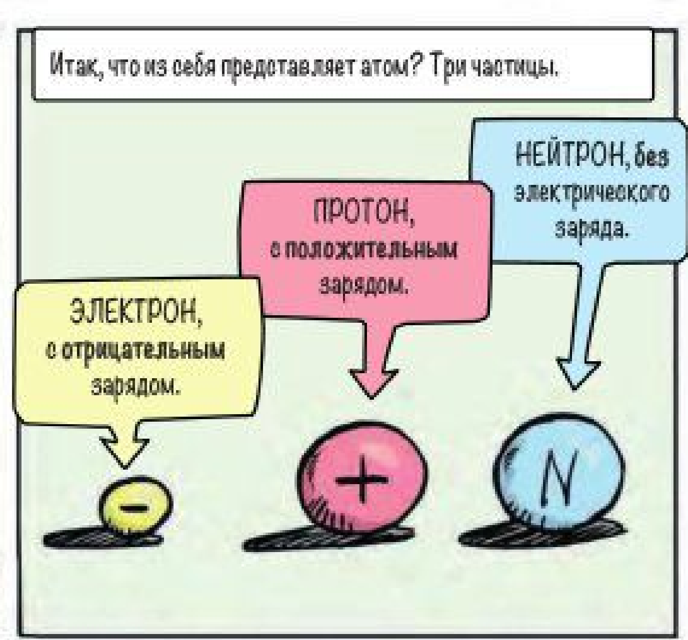
«В следующий раз, когда подумаете о том, сколько вы весите, помните, что большая часть вашего веса обусловлена весом пустого пространства».

Леонард Млодинов, физик

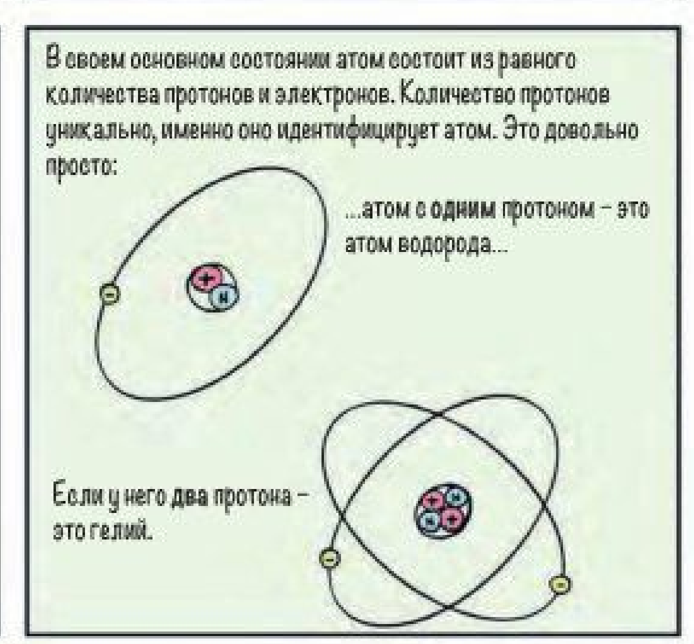



Если бы нужно было описать мир одним предложением, это было бы: «**Все состоит из атомов**», абсолютно все. Атомы – это основа нашей реальности.
Все состоит из атомов.
Воздух.
Ваш палец.
Дерево.
Зои.
Гора.
Плитка.
Вода.
Эта страница.
Эта... э-э... штука.
Клещ Гельмут (брат Курта).
Сказать, что атомов много, – преуменьшение. Человеческое тело состоит из миллиардов и миллиардов атомов. Это десять и двадцать семь нулей! Мы просто большая куча атомов!
– Так, напомни, для чего мы храним эту штуку?
– Потому что это старый семейный сувенир. Мой прапрадедушка. Это был его талисман на удачу во время морских путешествий.
– Котати, это ты хотел его здесь поставить.
– Грррррмм... То есть если мы выбросим этот ужасный пылесборник, он еще и неудачу нам принесет?
– Ты сказал: «Его место в ванной!» Только вместо «ванная» ты сказал другое слово.
– Ты такой недовольный, потому что взвесился, да?


В этом «глазе» два миллиарда атомов.
Миллион атомов может впритык уместиться на кончике волоса.


Итак, что из себя представляет атом? Три частицы.
ЭЛЕКТРОН, с отрицательным зарядом.
ПРОТОН, с положительным зарядом.
НЕЙТРОН, без электрического заряда.
N


Протоны и нейтроны вместе образуют ядро атома...
...а электрон вращается вокруг него*.
N
* Так это видит художник.


В своем основном состоянии атом состоит из равного количества протонов и электронов. Количество протонов уникально, именно оно идентифицирует атом. Это довольно просто:
...атом с **одним** протоном – это атом водорода...
Если у него **два** протона – это гелий.


Если их **три** – это литий... и так далее до девяноста двух – все это природные элементы, из которых состоит вся материя во вселенной.


Нейтроны не влияют на определение элемента атома.
Но они влияют на массу. Добавьте один или два нейтрона, и вы получите изотоп.











Один из величайших талантов атомов – это группироваться в молекулы. Если бы атомы были буквами, молекулы были бы словами. Например, для молекулы целлюлозы – основного компонента книги, которую вы держите, – вам нужно 6 атомов углерода, 10 атомов водорода и 5 атомов кислорода. Получается формула $C_6H_{10}O_5$.



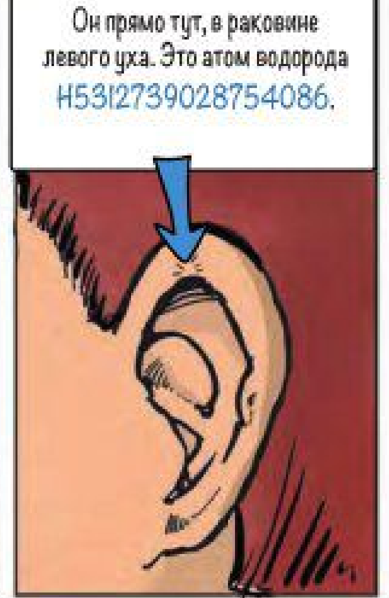

Динь-дон
– Уже?!! Опаздываю!


Привет
– Привет, Адам! Готов бегать, чемпион?
Иду-иду
– Я взял с собой педометр. Круто, и?


– Педо...что?
Двуокись кремния (компонент стекла): SiO_2.
Хлорофилл: $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$.


Атомы наделены удивительным качеством: они практически неразрушимы. Как бессмертные.
– Потрясающе! Мы уже сделали 214 шагов и сожгли 8,2 калории!

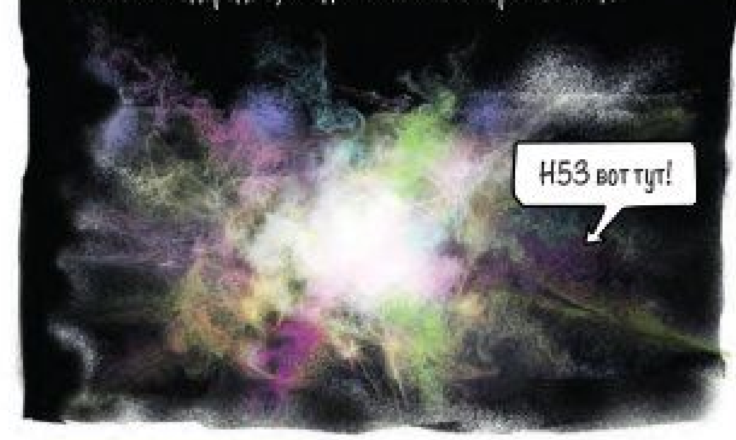

Было бы любопытно проследить путь атомов до тех пор, пока они не стали... вами! Например, возьмем этот атом, вот здесь.
– Ты так и будешь смотреть на него всю дорогу?


Он прямо тут, в раковине левого уха. Это атом водорода H5312739028754086.

Атом водорода H5312739028754086 – который по понятным причинам мы назовем H53 – начал свою жизнь более 13 млрд лет назад. Вот несколько эпизодов из его бесконечного существования.

13,8983 млрд лет назад.

Как ошеломляющая коробка конфетти, Большой взрыв выплеснул гелий и много водорода, два самых легких химических элемента. Среди этого множества был H53, уже существующий. Сегодня 9 атомов из 10 во вселенной все еще являются водородом, все дети Большого взрыва – отца.



11,3 млрд лет назад.

Благодаря гравитации и большому количеству спутников H53 формирует протозвезду: гигантскую фабрику, производящую новые, более тяжелые элементы посредством синтеза, в том числе углерод, кислород, азот и железо. Это звездный нуклеосинтез.



8 млрд лет назад.



Протозвезда коллапсировала. Наш атом водорода H53 продолжает свое путешествие в ледяном состоянии и превращается в комету.

7,5 млрд лет назад.

Комета врезается в планету в галактике Андромеды. 8000 лет спустя H53 становится частью ядовитого бозока, который живет в ледяной долине.

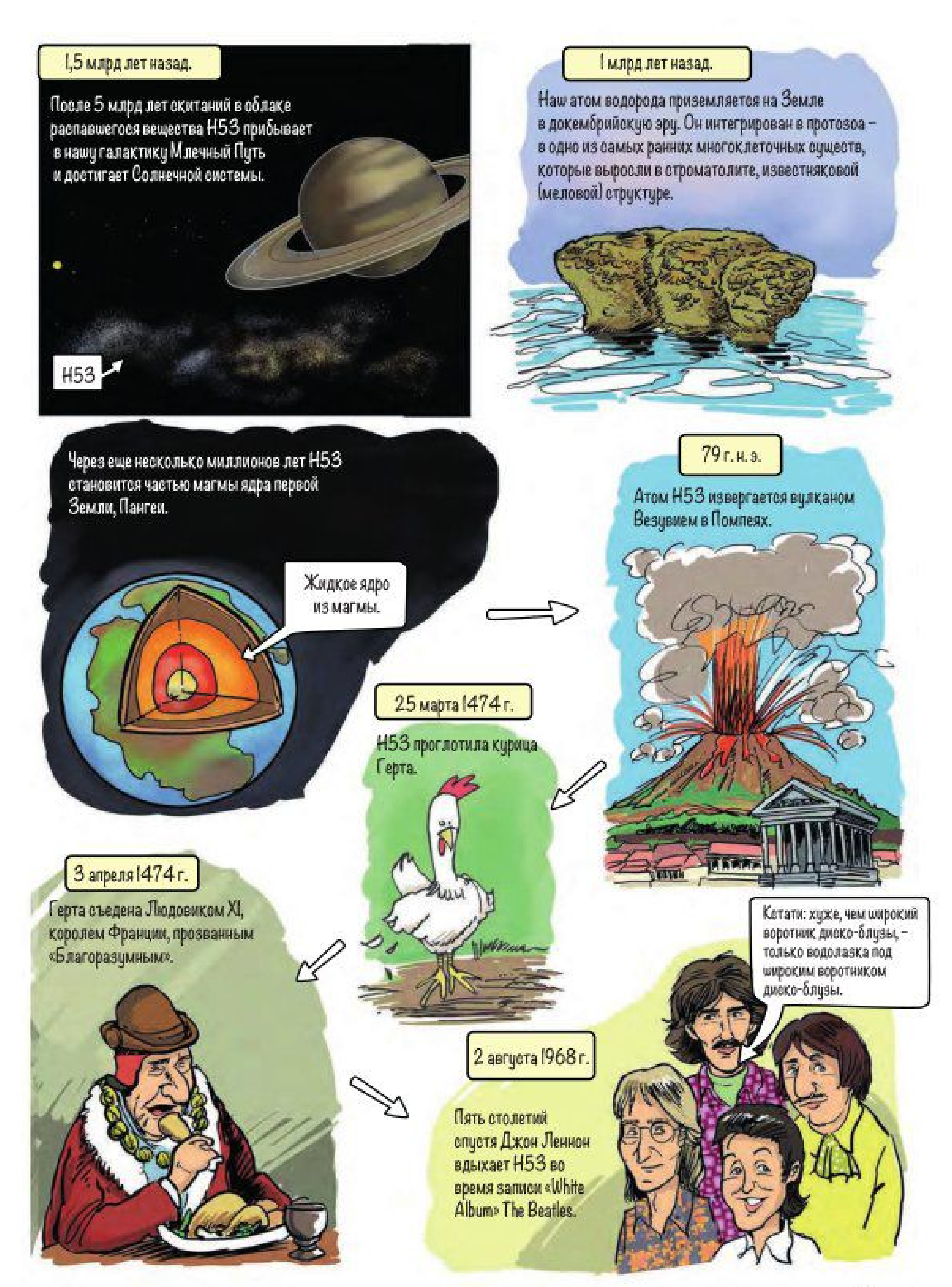


150 000 лет спустя H53 живет в волоске одного из бесчисленных «флатулор гроольфов», теперь населяющих великую равнину, которая стала теплой и полной растительности.

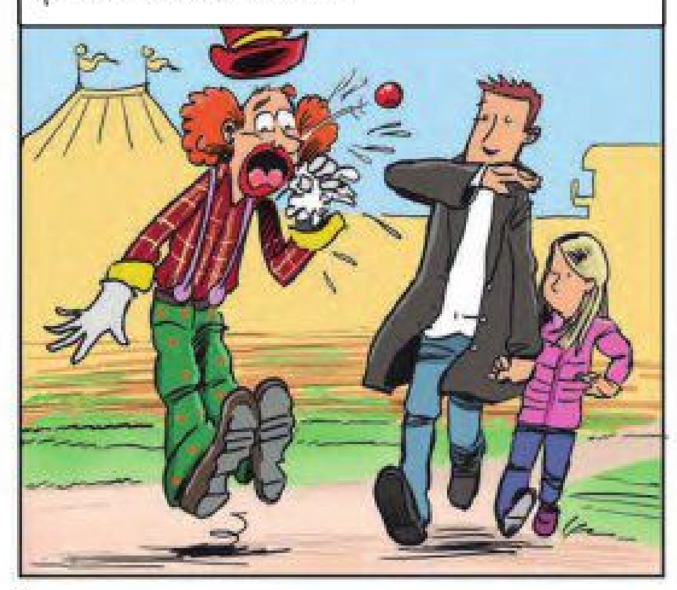


Проходит миллиард лет, пока взрыв ближайшей звезды не уничтожит планету гроольфов.

Атом H53 отбросило очень-очень далеко.


1,5 млрд лет назад.
После 5 млрд лет скитаний в облаке распавшегося вещества H53 прибывает в нашу галактику Млечный Путь и достигает Солнечной системы.
H53
1 млрд лет назад.
Наш атом водорода приземляется на Земле в докембрийскую эру. Он интегрирован в протозоа – в одно из самых ранних многоклеточных существ, которые выросли в строматолите, известняковой (меловой) структуре.
Через еще несколько миллионов лет H53 становится частью магмы ядра первой Земли, Пангеи.
Жидкое ядро из магмы.
79 г. н. э.
Атом H53 извергается вулканом Везувием в Помпеях.
25 марта 1474 г.
H53 проглотила курица Герта.
3 апреля 1474 г.
Герта съедена Людовиком XI, королем Франции, прозванным «Благоразумным».
2 августа 1968 г.
Пять столетий спустя Джон Леннон вдыхает H53 во время записи «White Album» The Beatles.
Кстати: хуже, чем широкий воротник диско-блузы, – только водолазка под широким воротником диско-блузы.

Несколько десятилетий спустя в цирке Максибус клоун Пиф подхватил простуду. Адам со своей 8-летней дочерью Люс проходит мимо и вдыхает H53.



Так H53 в процессе регенерации клеток поселился в левом ухе Адама.



Всего четыре элемента – **водород, углерод, азот и кислород**, – собранных и постоянно перерабатываемых различными способами, составляют почти каждый кусочек «живого» вещества. Наше тело – это лоскутное одеяло, созданное из бесконечной повторной сборки одних и тех же миллиардов атомов снова и снова. Вы невероятная смесь атомов, которые когда-то принадлежали известным людям, кроликам, глиняной посуде или фруктовым кексам.

250 млн атомов были частью Элвиса Пресли.

20 млн атомов пришли от лося Бориса (1243–1261).

85 млн атомов от японской вазы 12 000 лет до н. э.

380 млн атомов когда-то принадлежали папуасскому вождю Кундии (1543–1610).

210 млн атомов – от этого королевского пудинга, съеденного при дворе в Англии в 1628 г.

27 млн атомов – от Сальвадора Дали.

Композиция атомов.
Имя: Адам.
Жанр: Человек.
Вес: 80 кг.

93 млн атомов принадлежали Нефертити.

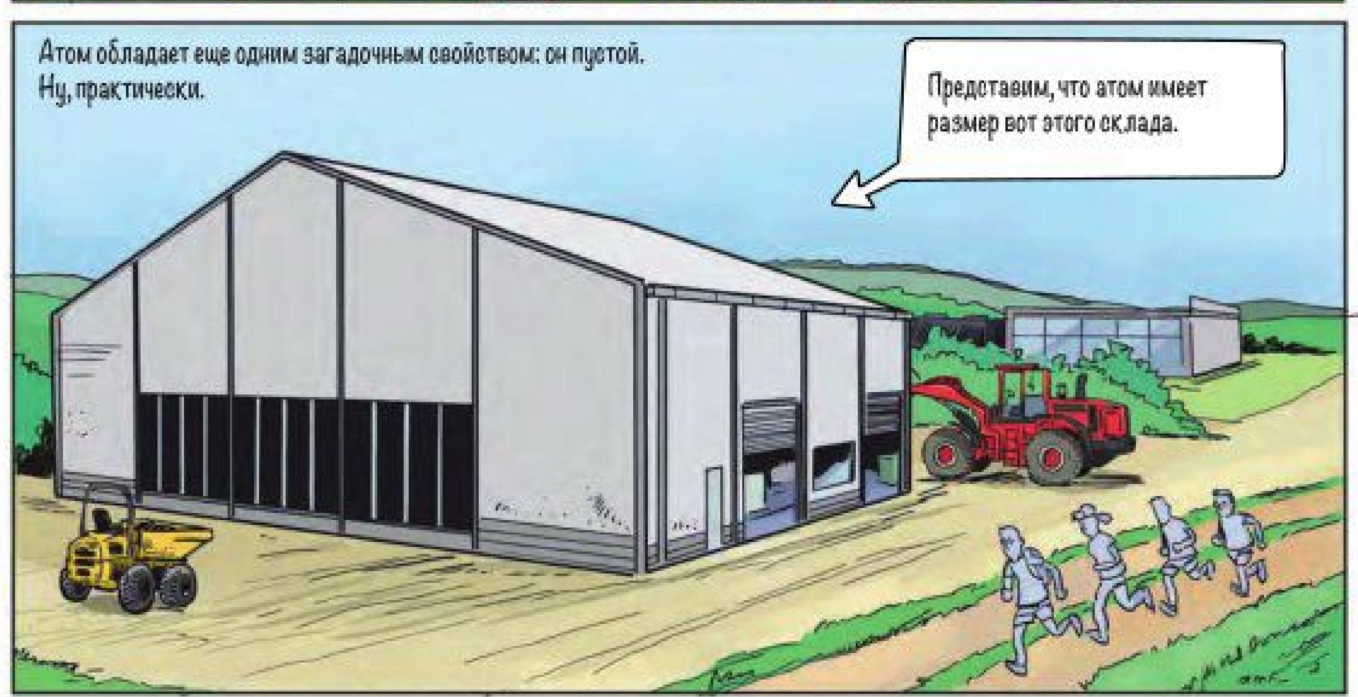
75 млн – от кролика Иглота (1732–1734).

И другие источники.

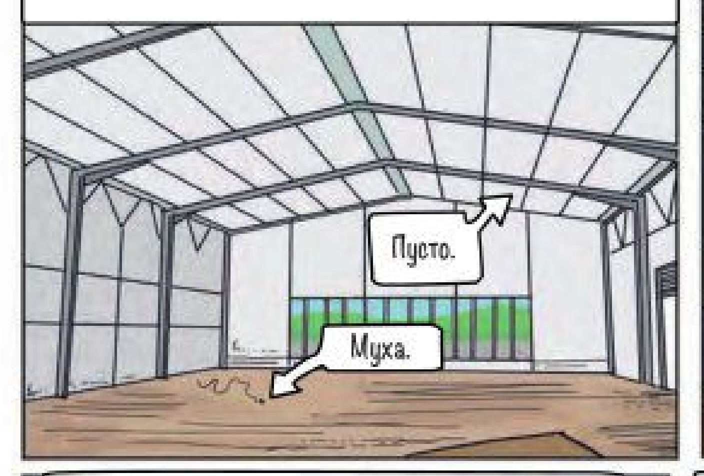

И когда мы исчезнем, наши атомы станут чем-то еще...


...частью песчинки, гриба, травинки, лемура или брюхоногого моллюска.
– Эй! Мы уже сделали 5543 шага и сожгли 528 калорий!

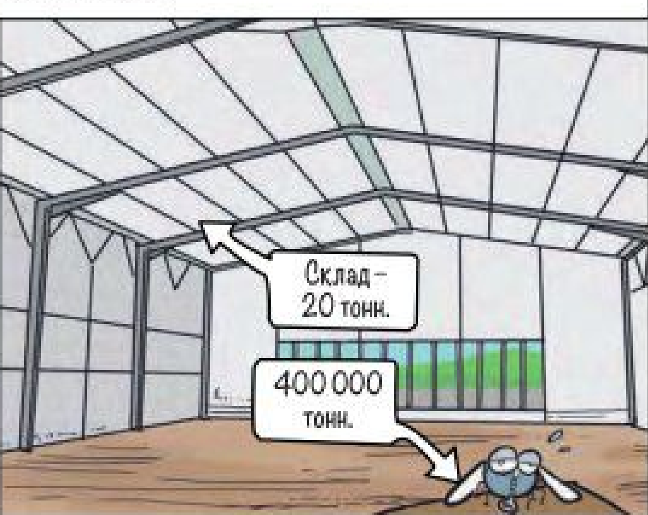

– 5543 шага? Ничего себе! Как раз хотел спросить тебя об этом.
– Слышу нотки сарказма в твоем голосе.

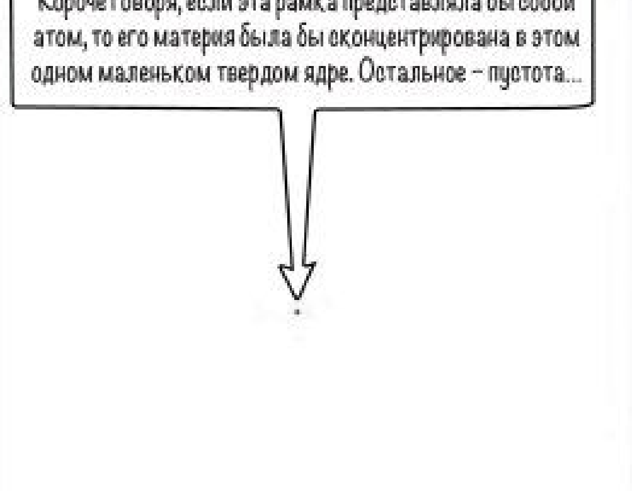

Атом обладает еще одним загадочным свойством: он пустой. Ну, практически.
Представим, что атом имеет размер вот этого склада.

Ядро этого атома-склада было бы размером с... муху! А что касается остального объема? Пусто. Атом пропорционально более пустой, чем Солнечная система или космос.

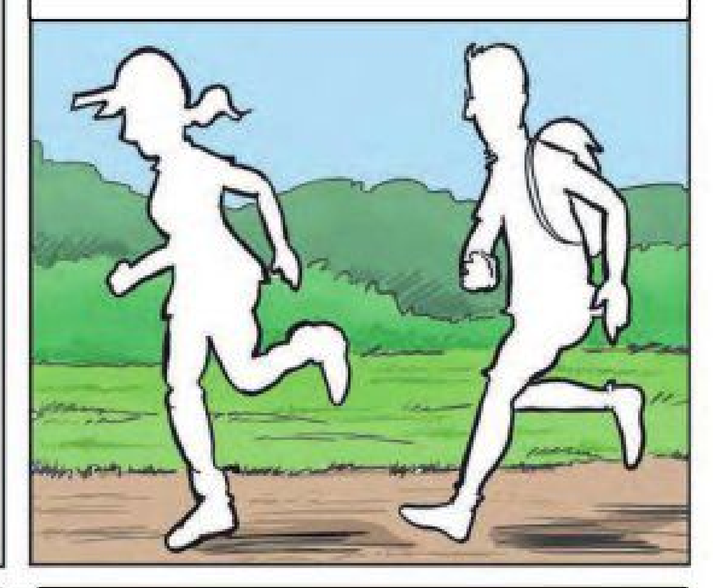


Но эта ядерная муха также была бы в тысячи раз тяжелее самого склада.





То есть мы тоже на 99,99 % состоим из пустоты.



Чувство твердости, которое мы ощущаем, является полной иллюзией. Например, топните кроссовком по земле.

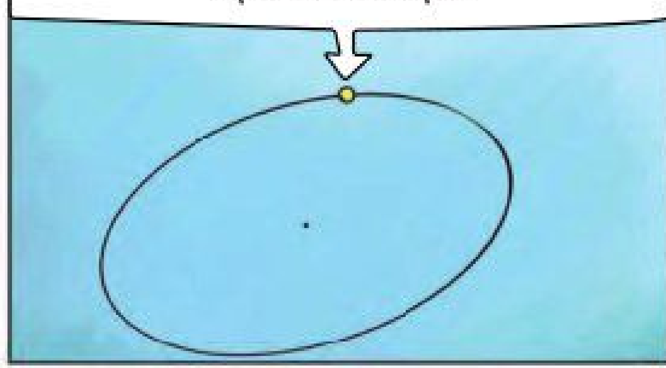


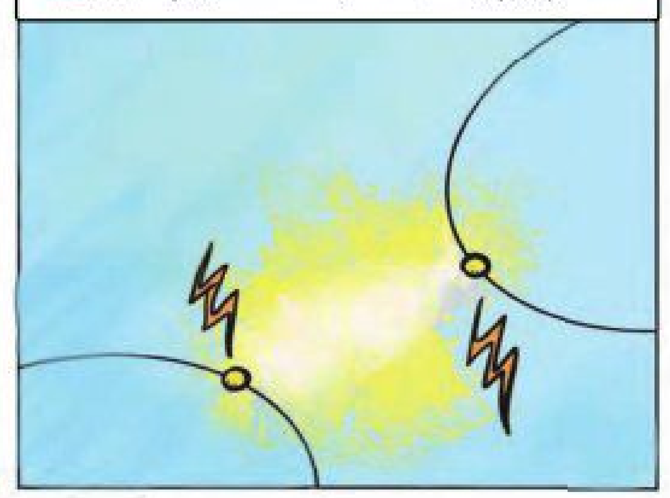
Нога и земля могут проходить сквозь друг друга, оставаясь невредимыми, как две звездные пылевые туманности, пересекающие друг друга в глубоком космосе.







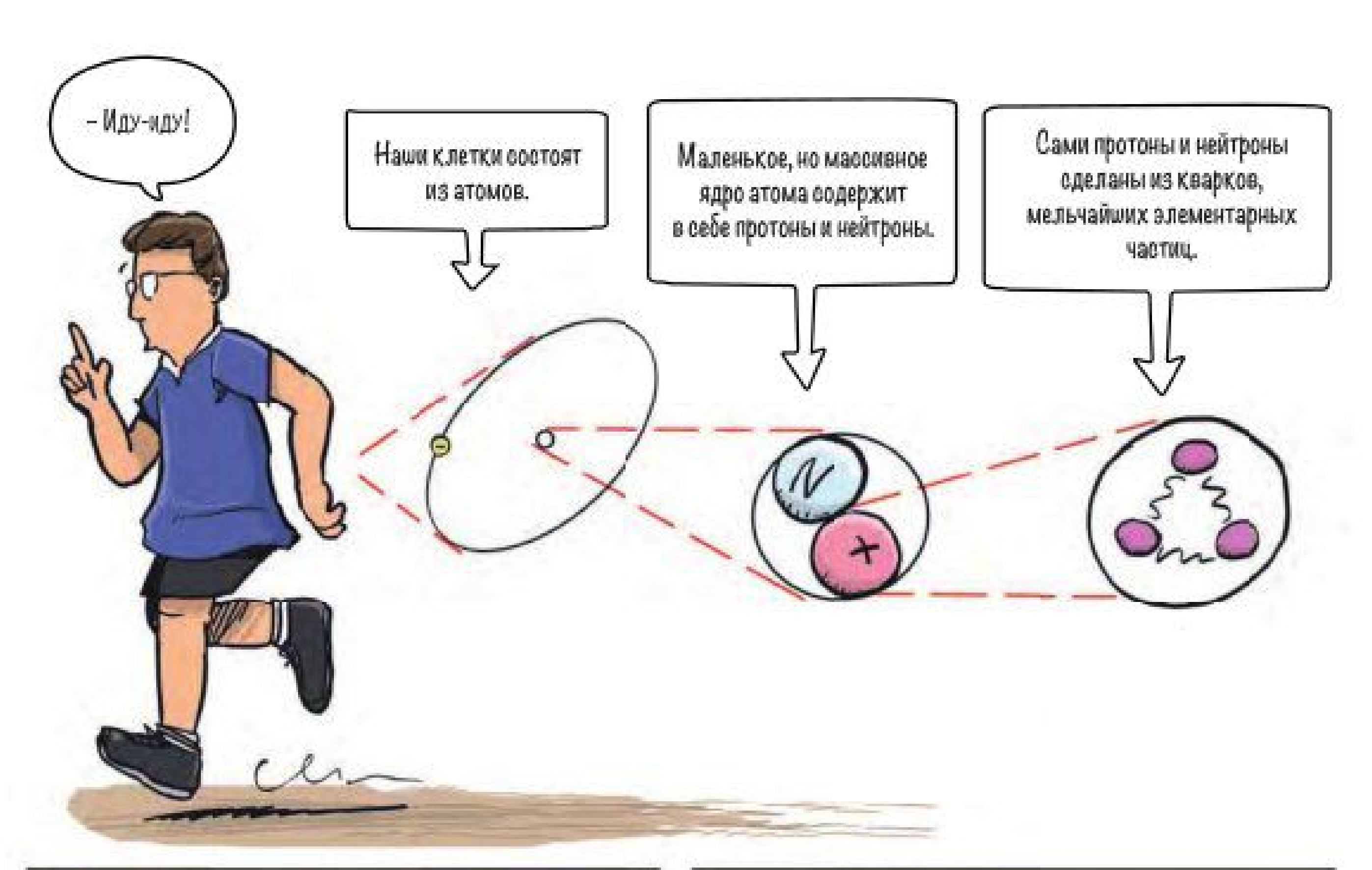




Таким образом, чувство цельности связано исключительно с электромагнитным отталкиванием электронов. Мы никогда ничего не трогаем: вместо этого мы плаваем, мы парим, мы левитируем.



Но это еще не все... Мы увидели, что ядро состоит из протонов и нейтронов. Но из чего сделаны эти протоны и нейтроны? Из еще более мелких частиц – кварков. Итак, подведем итоги...



Кварки связаны **глюонами**. Glue – по-английски «клей»: глюоны для кварков – то же, что цемент для кирпича, они склеивают!

Кварки

Gluons stick quarks together.

Зная, что глюоны и кварки имеют нулевую массу или массу, близкую к нулю, возникает вопрос: **откуда взялась масса ядра**?

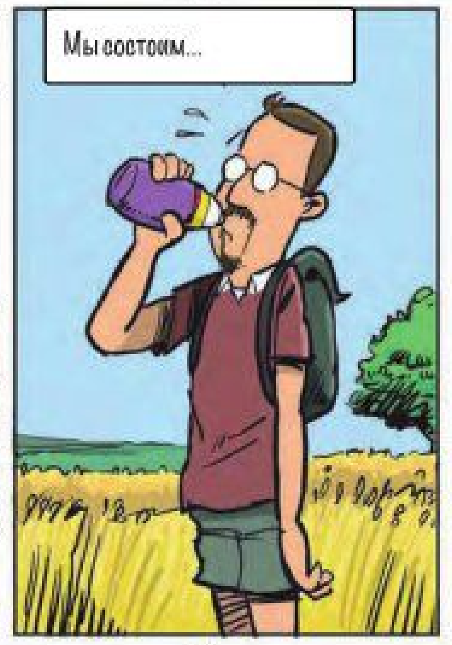
Масса возникает из **пустоты** между этими кварками. Да, вы правильно прочитали: из пустоты. Частицы появляются и исчезают из пустоты с безумной скоростью каждые 10-21 секунд. Поля, созданные этими виртуальными частицами, вносят вклад в наибольшую часть энергии протона и, следовательно, в его массу, потому что энергия = масса (см. главу 3).

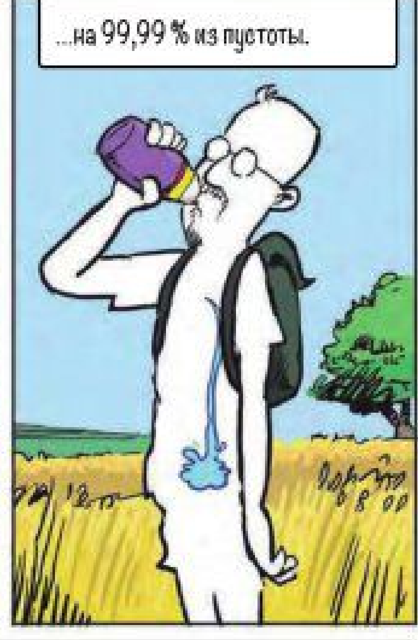
Виртуальные частицы, возникающие из пустоты.

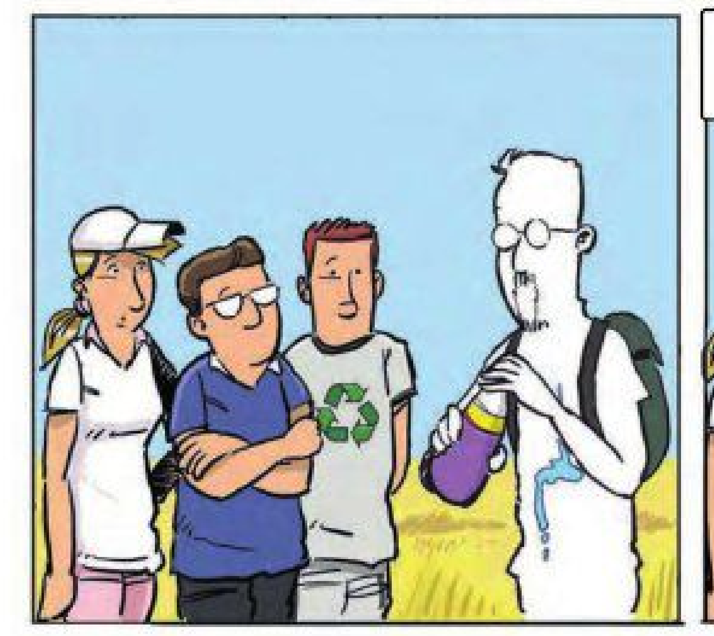
Эти вакуумные флуктуации являются источником ненаблюдаемых частиц, «турбулентного настоя (...), возникающего из небытия, а затем быстро исчезающего обратно в него», как писал физик Леонард Млодинов. Поскольку мы тоже состоим из протонов и нейтронов, наша масса также происходит из этого небытия.














Бесконечно маленький мир полон таинственных загадок: мы едва подняли крошечный угол завесы.
Пляж
Это странный мир, состоящий из волн, бесконечных полей, невозможных прыжков, запутанности и двойственности.
– Ну ладно, пора направляться обратно.
Эта запутанная область исследований родилась из открытия атома, еще на заре XX века. Еще раз.

В начале XX века мы сначала должны были выяснить, действительно ли атом существует, и если да, то как, черт возьми, эта штука может выглядеть. Сегодня мы все еще не можем увидеть атом, потому что он слишком маленький. Ученым в то время приходилось еще больше полагаться на свое воображение и предлагать различные модели, в том числе «кубический атом». Конференция о природе атома могла бы выглядеть так...

«Неизвестный атом»
Международный научный симпозиум 1907

– Какой-то он агрессивный, да?

– Легко складывать.

Атом-сливовый пудинг

– Интересно! Выглядит как абажур.

– Хм... Это и есть абажур.

Кубический атом.

В то время самой популярной моделью атома был «сливовый пудинг», потому что она выглядела логично: масса с застрявшими в ней электронами.

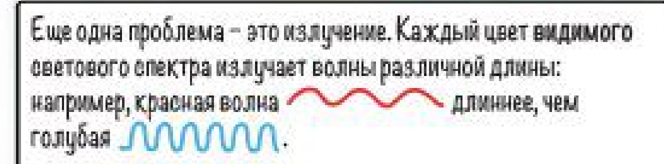


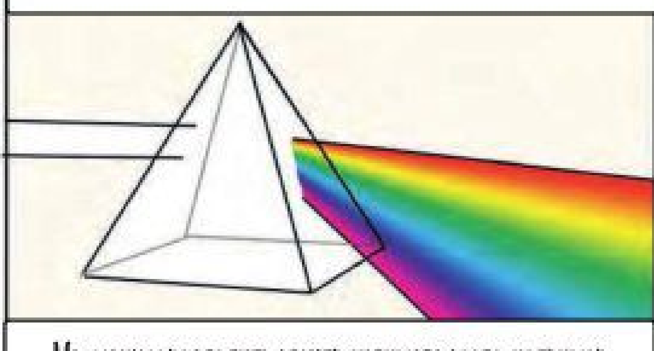
Но в 1909 году физик Э. Резерфорд доказал, что большинство массы на самом деле находится в очень маленьком ядре (как мы уже знаем).



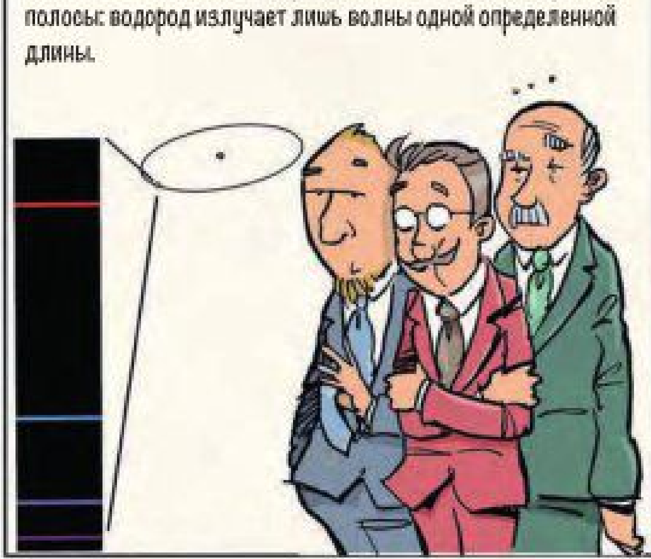

Это было рождение так называемой **планетарной теории**, где электроны вращались вокруг ядра.
– А-а-а-а-ах!


Но эта модель нарушает законы электромагнетизма. Находясь на орбите, электрон излучает свет. Поэтому он должен медленно терять энергию и врезаться в ядро.
Бум!
О-о-о-о-о...
– Э-э.. Хм... Надо еще кое-что отрегулировать... хм...


Еще одна проблема – это излучение. Каждый цвет **видимого** светового спектра излучает волны различной длины: например, красная волна длиннее, чем голубая .


Мы можем разделить спектр видимого света, например, с помощью призмы.


Атомы также испускают видимое световое излучение. Поэтому спектр атома, например водорода, тоже должен показывать цвета радуги.
– А-а-а-а-ах!


Но не в этом случае. Спектр показывает только конкретные полосы: водород излучает лишь волны одной определенной длины.


Поведение водорода здесь действительно абсурдно. Представьте, что наш атом – это бегун.
Бегун находится под постоянным наблюдением спутника.

GPS-навигатор будет видеть этого бегуна в некоторых конкретных местах, но нигде больше! Он мгновенно переходит из одного места в другое, **не пересекая** промежуточного пространства. Как по волшебству!







По нашим меркам, такое невозможно. Но на атомном уровне что-то, подобное телепортации, безусловно существует.



Водород излучает **только** несколько цветов видимого спектра, потому что его электрон может притягиваться лишь на ограниченном количестве орбит, или энергетических уровней («n1», «n2» и т. д.). Его орбиты ограничены, **квантованы**.



Переходя на орбиту вниз, электрон **испускает** электромагнитную энергию в виде легкого фотона. Например...



В то время когда электрон поднимается, он **поглощает** фотон с идентичным количеством энергии.



Таким образом, электрон переходит с одного уровня на другой, теряя или набирая энергию в эквивалентных количествах в виде легких фотонов.

Видимый спектр водорода отображает только четыре цвета радуги, потому что электрон прыгает с одной квантованной орбиты на другую, не **пересекая** пространство между ними. Давайте проясним: этот **квантовый скачок** разрушает все общепринятые правила классической физики. Добро пожаловать в мир, полный странности. Добро пожаловать в квантовый мир!

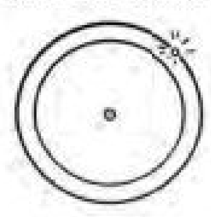


Квантовая модель применима к каждому типу атома. У каждого из них свой полосатый спектр. Короче говоря, чем больше мы открываем, тем все меньше и меньше атом выглядит так, как мы думали...



Нильс Бор

открыл эту странную модель «квантового скачка».





Луи де Бройль

позже подчеркнул ондуляторный аспект этих самых атомов.

Сегодня мы больше не уверены, что знаем, как выглядит атом. Это может быть своего рода электромагнитный бульон или что-то в этом роде.



Планетарная модель неудовлетворительно представляет атом. Но, за отсутствием лучшей концепции, она является традиционной, и именно так большинство людей в наши дни представляют атом.



Нужно сказать, что квантовая физика доказывает, что даже природа самого атома меняется...



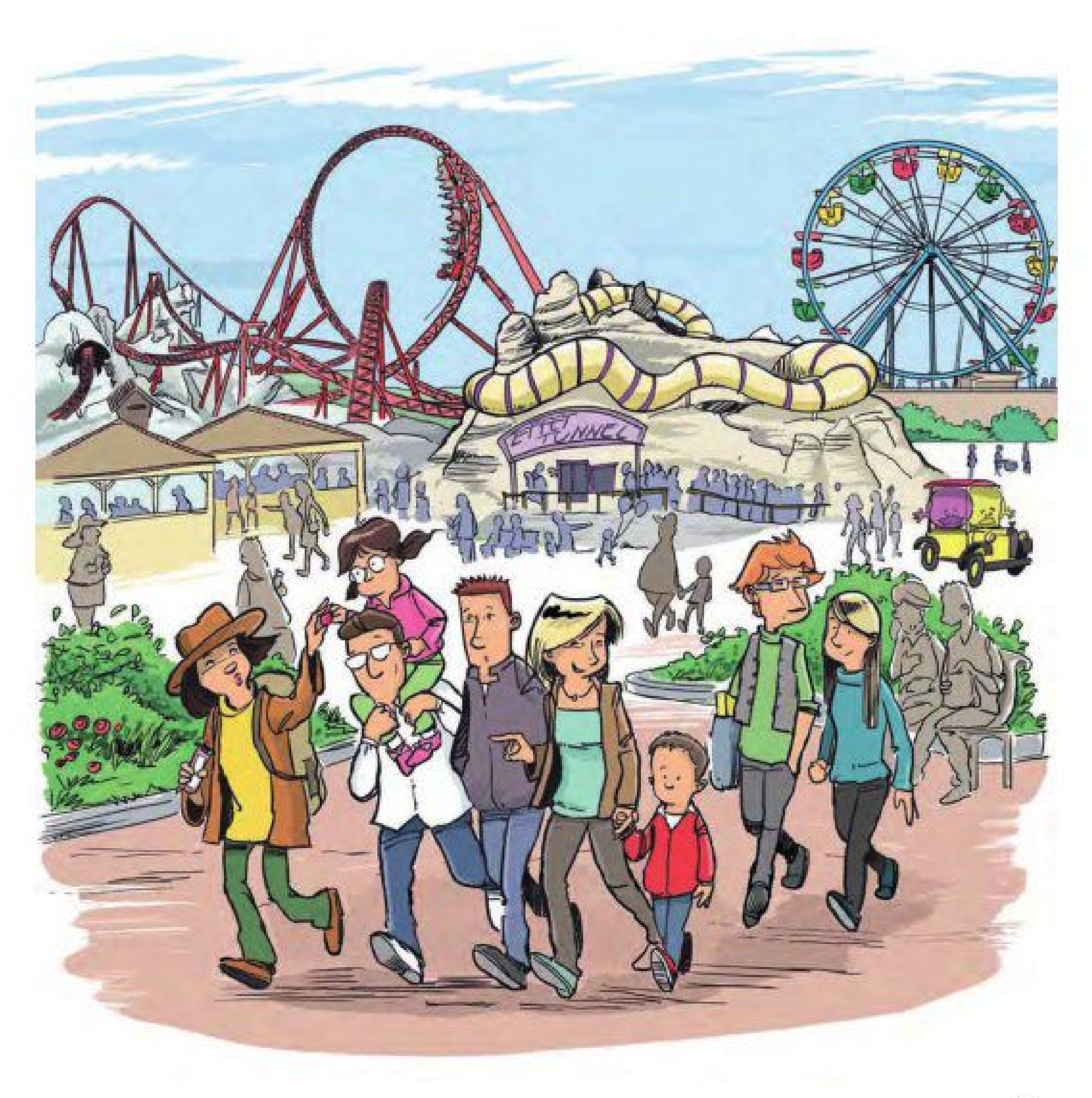
...так же, как волна преобразуется в камень.

Глава 6

АБСУРДНА ЛИ ПРИРОДА?

«И теперь кто-то говорит вам, что камень похож на океанскую волну… Что?!!»

Леонард Сасскинд, один из создателей теории струн




– Э... То есть... Мальчик, с которым ты пришла, он... ммм...
– Гилберт? Ему девятнадцать лет, и он занимается теоретической физикой... Он очень умный!


– Да, но... э-э-э...
– Он всего лишь мой друг. Мне только четырнадцать.
– Я еще маловата...
– Ну да, я тоже так думаю...


Бросай мячи!
Сбивай деревянные бруски и получай призы!
– О-о-о-о-о! Пожарная машина!


В нашей макроскопической реальности твердое тело радикально отличается от волны.
– Хочу пожарную машину.
– Пожарную машину!


Проведем эксперимент: возьмем твердый мяч и две щели, сквозь которые можно бросить этот мяч.
Сбивай деревянные бруски и получай призы!


Точки, в которые можно попасть, вполне логично будут располагаться на одной прямой с левой щелью или с правой щелью.
– Давай!!!
– Давай, дядя Макс!!


Не важно, насколько аккуратно вы бросаете, вы попадете только в точки, выровненные по щелям.


– Да-а-а! Раз!

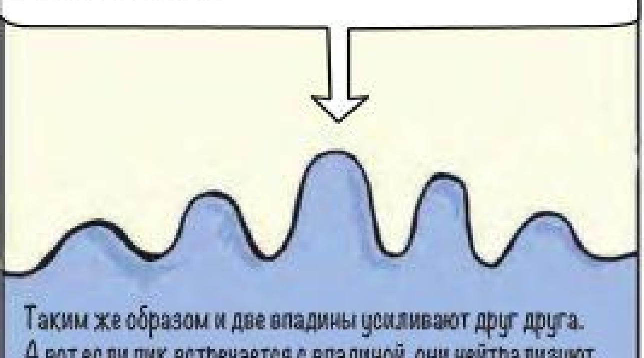

Центра достичь невозможно.
Недостижимо.

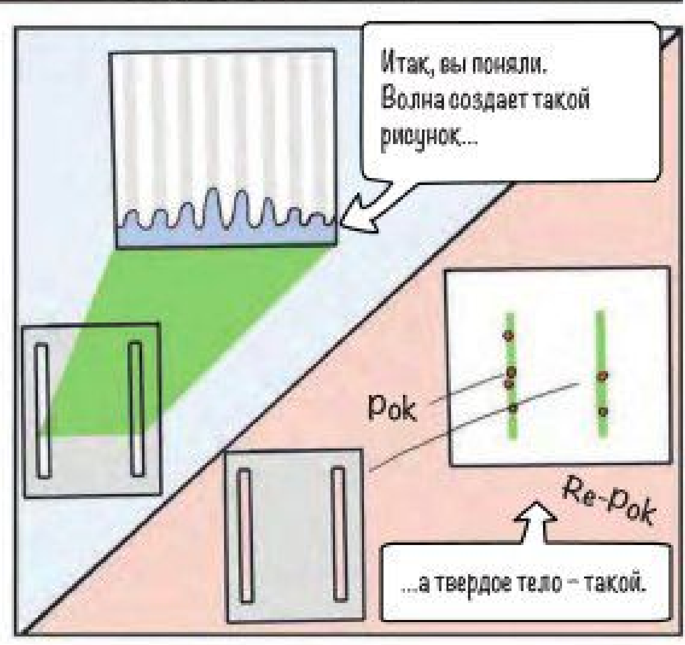

– Последними, кто сбивал призы в середине, были... Их ведь не было, так?
– Не понимаю, о чем вы.


И наоборот, свойства волны противоположны свойствам твердого тела. Волна может разделяться, объединяться и деформироваться.

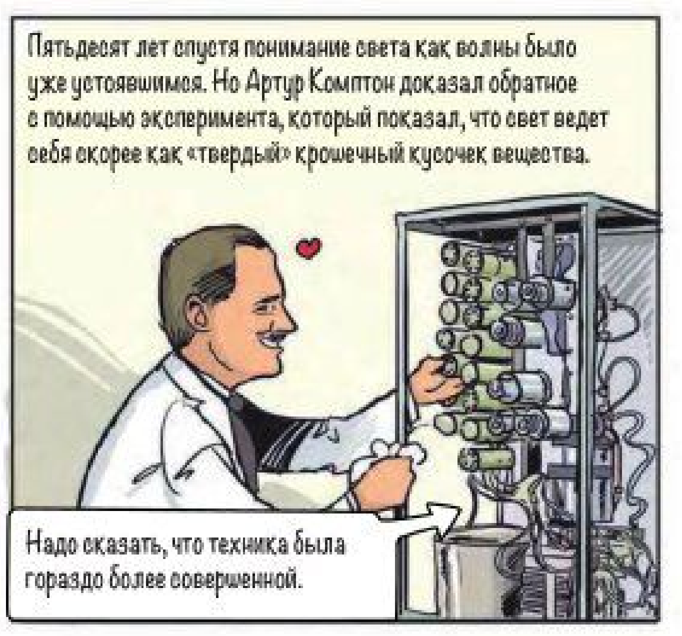

Повторим эксперимент с двумя щелями, но на этот раз представим водную стихию. Благодаря дифракции жидкость, проходя через эти щели, образует концентрические круги, которые объединяются друг с другом снова и снова.
Проходя сквозь щели, вода дифрагирует...
...и затем объединяет свои волны в разных местах.


В конце бассейна маленькие переплетенные волны создают последовательность пиков и впадин, называемых **интерференционной картиной.**
Уточки здесь просто декоративные.


Интенсивность интерференционной картины зависит от того, совпадают ли пики и впадины. Когда два пика пересекаются, они усиливают друг друга и формируют один больший пик.
Таким же образом и две впадины усиливают друг друга. А вот если пик встречается с впадиной, они нейтрализуют друг друга.


Итак, вы поняли. Волна создает такой рисунок...
Pok
Re-Pok
...а твердое тело – такой.


Благодаря опыту с двумя щелями ученый по имени Томас Янг в 1871 году продемонстрировал, что свет – это волна.
No Pok?!?
Он получил бахрому из светлых и черных линий, эквивалентных рисунку пиков и впадин.


Пятьдесят лет спустя понимание света как волны было уже устоявшимся. Но Артур Комптон доказал обратное с помощью эксперимента, который показал, что свет ведет себя скорее как «твердый» крошечный кусочек вещества.
Надо сказать, что техника была гораздо более совершенной.

Эффект Комптона говорит, что фотон, ударяя электрон, выпускает энергию. В этом столкновении фотон ведет себя как твердое тело. Эйнштейн предсказал существование квантов, этих частиц света.

Фотон

Отскок электрона

Пок

Рассеивание фотона



В последующие годы некоторые ученые повторяли эксперимент с двумя щелями, но на этот раз отправляя только одну частицу за раз.

Это не фен для волос, а что-то вроде лазера.



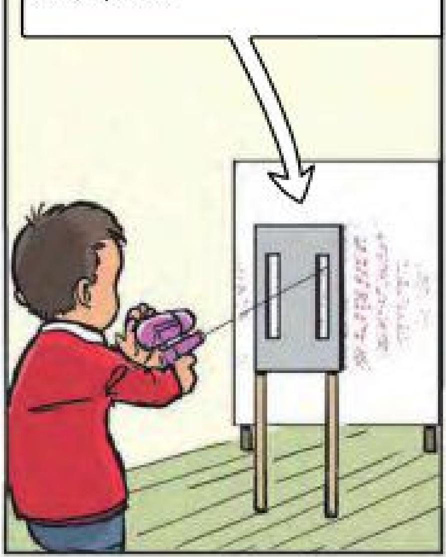
На первый взгляд это выглядело так же, как и метание мячей на ярмарке. Фотоны как будто ударяются об экран, формируя параллельные линии, выровненные по двум щелям, как это сделали бы частицы.

Но стали появляться рассыпанные точки...

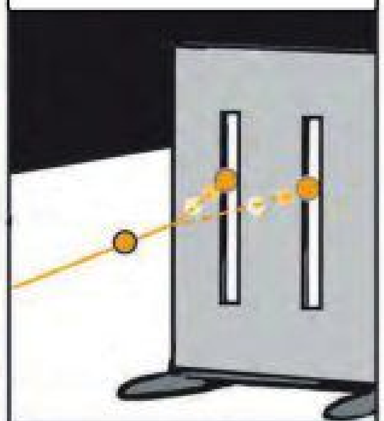



Это было так же неправдоподобно, как встретить в джунглях двухголового розового единорога на велосипеде: этого просто не должно быть!

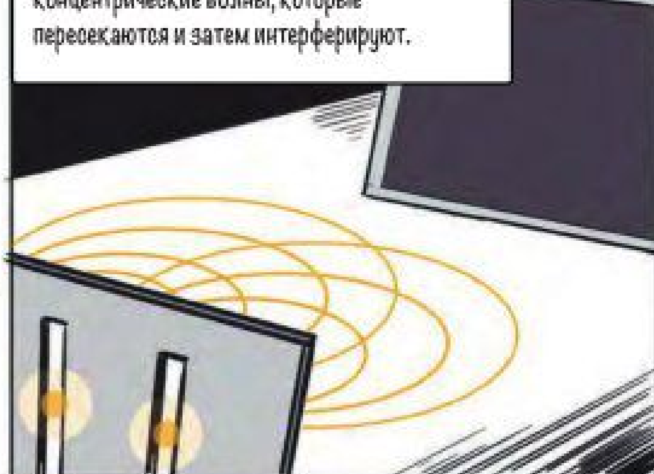

Представьте, что кто-то стреляет каплями краски случайным образом, одну за одной...

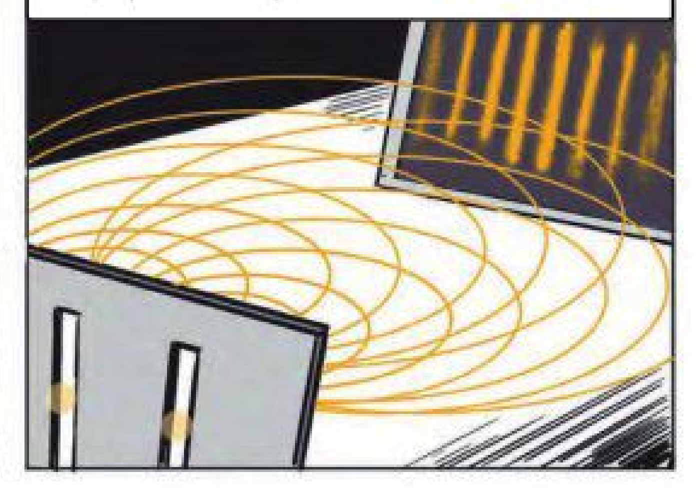

...исключительно сквозь одну из двух этих щелей...


...в результате получается вот это!


Невозможно!
Разве что одна капля или фотон проходит через обе щели одновременно.

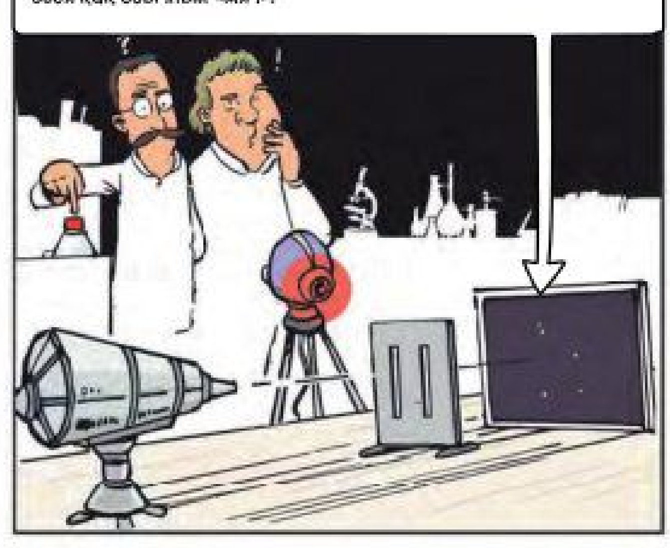

Вы правильно прочитали: если фотон проходит через правую и левую щели одновременно, он ставит себя в суперпозицию.
Частица проходит здесь... И... здесь!


При такой суперпозиции фотон начинает пересекаться... с самим собой! Как две концентрические волны, которые пересекаются и затем интерферируют.

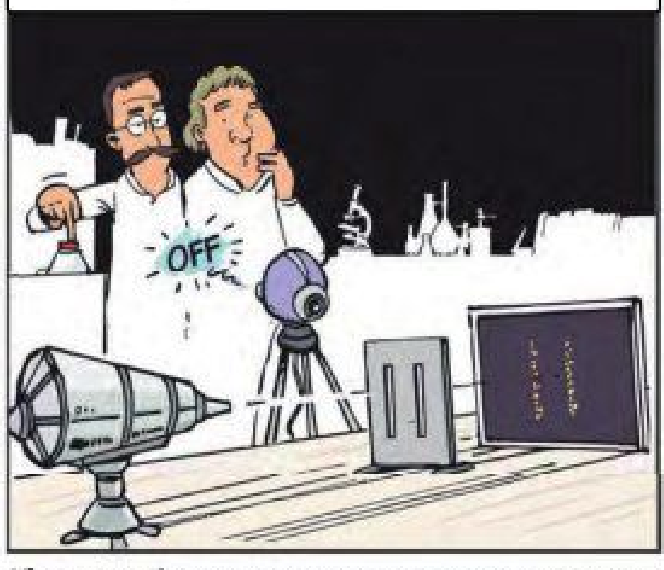

Постепенно фотоны, выстреливаемые по одному, начинают вести себя как волны и создают интерференционную картину.











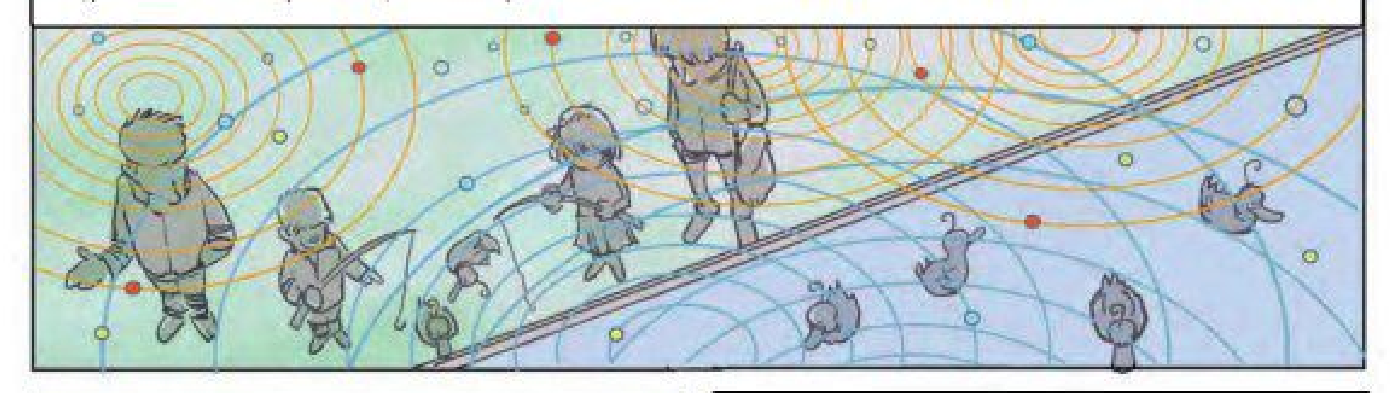


*В реальных лабораторных условиях эксперимент проводится в полностью закрытой и пустой системе при температуре, близкой к абсолютному нулю.

Таким образом, находясь в **суперпозиции**, фотон может не только проходить через несколько мест одновременно, но он также может изменять свое поведение, когда вы наблюдаете за ним, «фиксируя» себя в реальности, как частица или крупинка материи.



Эти странные свойства имеют не только фотоны, но также атомы и их компоненты: электроны, протоны, нейтроны, кварки. Фактически этими свойствами обладает **каждая частица** микроскопического мира, те же частицы, из которых состоит наш космос. И мы сделаны из них тоже. Эксперимент с двумя щелями «содержит в себе сердце квантовой механики», как писал лауреат Нобелевской премии по физике Ричард Фейнман.



Двойные щели – это окно, через которое человечество может взглянуть на квантовый мир. В течение XX века научное сообщество сосредоточилось на этом бесконечно маленьком фантасмагорическом взгляде на наш повседневный мир. И вскоре появится еще больше особенностей...



Например, невозможно одновременно измерить некоторые свойства частицы, такие как ее скорость и ее положение (и, как следствие, траекторию).



И это довольно грустно, потому что если физики и любят что-то, то это измерения.

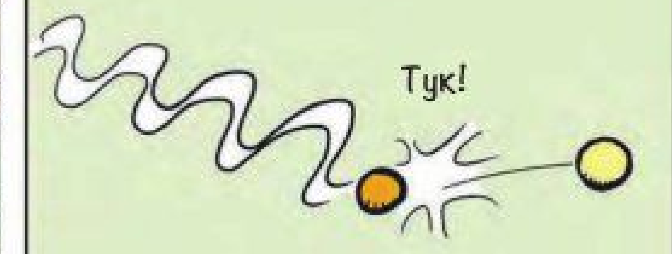


Этой невозможности есть техническое объяснение: луч света – миллиарды фотонов – не имеет шансов перемещать объект или кого-то...





...однако в микроскопическом мире один фотон (то есть квант света, наименьшая возможная единица световой энергии) способен отклонять частицу. Как электрон, например. Вспомните эффект Комптона.



То есть один-единственный фотон способен помешать измерениям.

Идея, что вы не можете **одновременно** измерять скорость и положение частицы, называется принципом неопределенности.







Идея, что измерение нарушается, является интуитивным способом объяснения принципа неопределенности. Но это может ввести в заблуждение, что это явление связано исключительно с неуклюжими экспериментаторами или неадекватными инструментами.

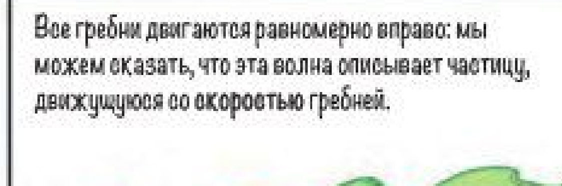


На самом деле более точное измерение ничего не изменит. Элементарная частица вообще не имеет определенного положения и скорости, поэтому понятия траектории просто не существует. Мы можем измерить одно, а затем другое, но не оба одновременно.



Как же работает этот квантовый мир? Все частицы движутся в квантовом поле. Давайте представим базовую версию этого поля, пересекаемого небольшими волнами, смещающимися по некоему океану.

Все гребни двигаются равномерно вправо: мы можем сказать, что эта волна описывает частицу, движущуюся со **скоростью** гребней.



Таким образом, мы можем измерить **скорость** частицы, но не ее **положение**, потому что у нее нет определенного положения в этом «океане».

Это поле обладает и другими странными свойствами. В нашем макромире одна и та же причина приводит к одному и тому же эффекту, но это не так в квантовом мире.



Посмотрите на эту бамперную машинку.









То же самое с бросанием монеты. Кажущаяся случайность происходит только из-за того, что мы не знаем всех параметров. Контролируя все данные, относящиеся к движению монеты (сила, углы, ветер и т. д.), мы могли бы точно предсказать, на какую сторону упадет монета.

Если мы повторим эксперимент с теми же условиями, результат будет тем же самым – орел.








Понятие вероятности в бесконечно маленьком мире отличается от привычного. На этот раз представим, что наш бамперный автомобиль действует как частица.
Он плавает в квантовой волне вероятности, его положение неопределенно и неточно.


Если мы попытаемся наблюдать это, «волновая машинка» закрепится в одном месте, как фотон в эксперименте со щелями.
У нас есть неплохой шанс найти ее… ЗДЕСЬ.


Если мы повторим эксперимент в строго одинаковых условиях, наш здравый смысл говорит нам, что мы должны получить тот же результат…
Но квантовый мир не заботится о здравом смысле. Результат непредсказуем! Это полная случайность.


Когда вы предпримете еще одну попытку, машина может быть где угодно. Например… здесь!


Есть и небольшой шанс, что вы найдете ее очень далеко…
Здесь.
Там.
– А папа бы не испугался!


Или тут.
– Я все вижу.
В общем, где угодно на планете.

...или в космосе! Наша частица – это **волна вероятности**, которая распространяется через пространство и всю вселенную. Существует даже бесконечно малый шанс найти ее в далекой галактике.



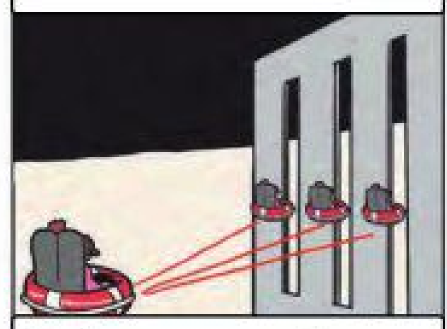
Строго одинаковые начальные условия приводят к разным результатам! Так что это конец **причинности**: больше нет причины, за которой следует предсказуемый эффект, а только вероятность.





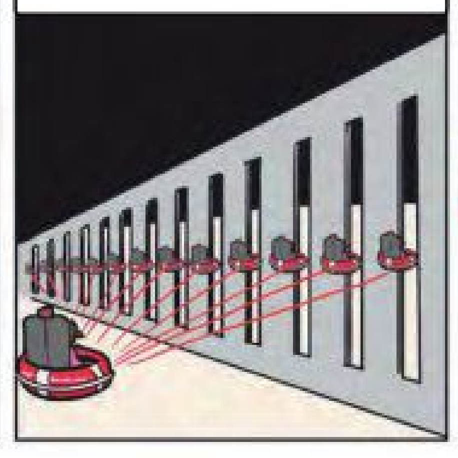


Квантовые уравнения говорят, что волна вероятности частицы охватывает все возможные пути.

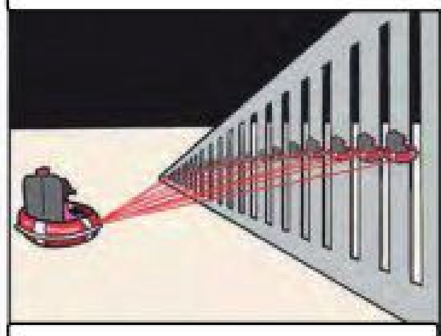


Если бы в опыте со щелями было три щели, частица проходила бы через все три.

Если бы было 30 щелей, частица проходила бы через все одновременно, создавая этим более сложную интерференционную картину.

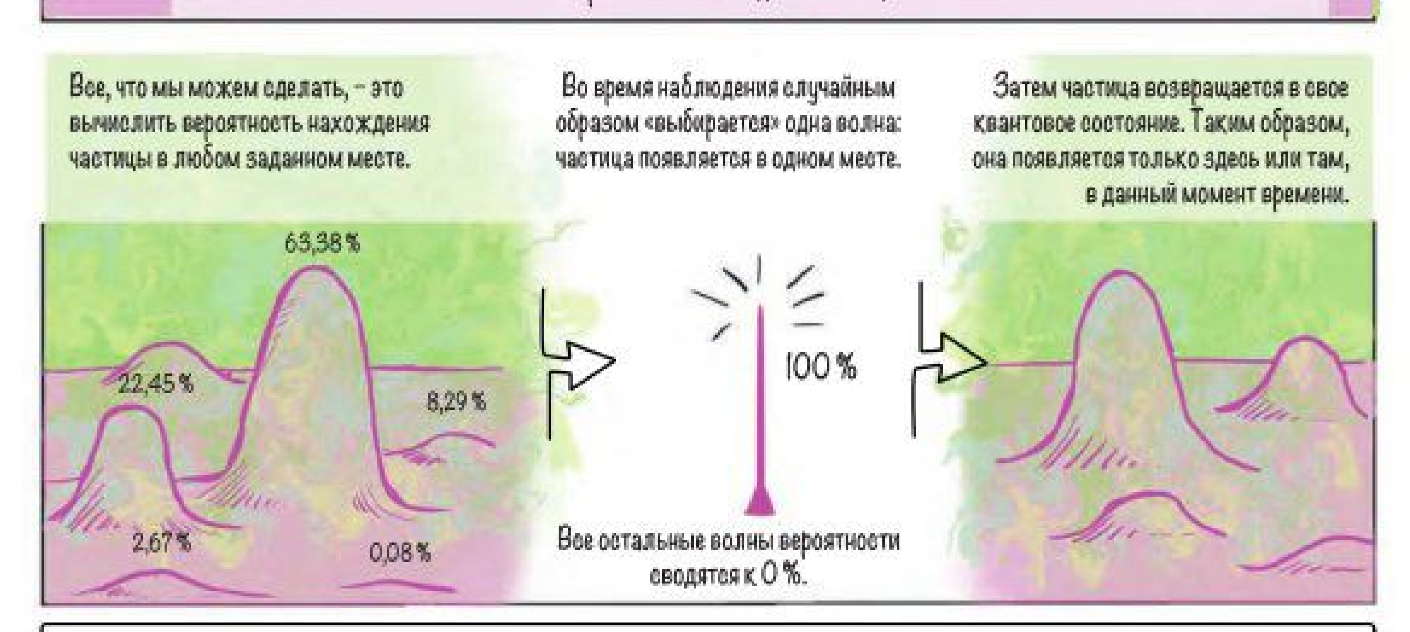


Если бы их было 3000 – она проходила бы через 3000. И так далее. Понятие называется «сумма всех путей».



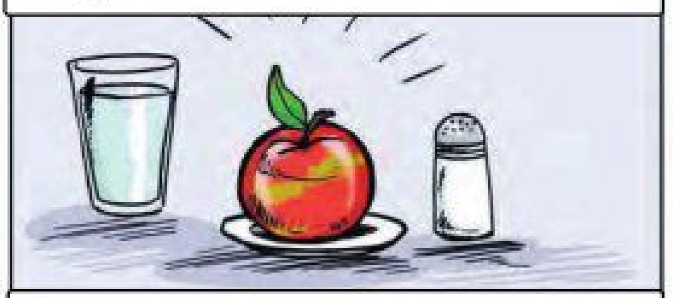
Удивительно то, что эксперименты точно подтверждают эти уравнения.


Итак, давайте добавим эти вероятностные волны в нашу квантовую гидромассажную ванну, полную частиц в неопределенных положениях. Эти волны вычисляют шансы нахождения нашей «бамперной машинки» в данном месте.
Вероятнее всего, мы найдем ее на этом месте.
Вряд ли мы обнаружим частицу здесь.
Волны вероятности – это математические уравнения. Короче говоря, чем выше «холм» в определенной точке, тем выше вероятность нахождения частицы в этой точке.


Все, что мы можем сделать, – это вычислить вероятность нахождения частицы в любом заданном месте.
Во время наблюдения случайным образом «выбирается» одна волна: частица появляется в одном месте.
Затем частица возвращается в свое квантовое состояние. Таким образом, она появляется только здесь или там, в данный момент времени.
63,38 %
22,45 %
8,29 %
2,67 %
0,08 %
100 %
Все остальные волны вероятности сводятся к 0 %.


Если бы яблоко Ньютона существовало в квантовом мире, оно не обязательно упало бы. И не всегда в одном и том же месте. Оно будет подниматься над землей в неопределенном состоянии, с определенной вероятностью падения здесь, там или, может быть, гораздо дальше. Это непредсказуемо. Яблоко само решает, где мы его найдем.
– Ставок больше нет!
Эйнштейн писал Нильсу Бору, что если природа действительно такова, он скорее «был бы сапожником или даже работником игрового дома, чем физиком».

Во время наблюдения частица делает свои ставки. Все возможные пути разрушаются, частица делает ставку на одно место, затем она фиксируется в реальности, в выбранном месте.



Это явление продолжает удивлять ученых: они до сих пор не знают, почему это происходит. И каждый когда-либо проведенный эксперимент подтверждает эту теорию.



















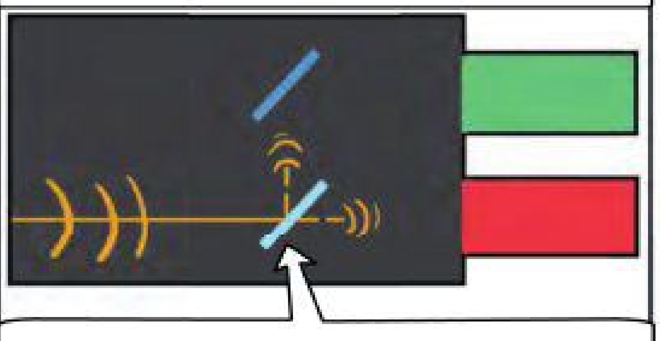
Шредингер действительно изобрел этот знаменитый воображаемый эксперимент, который описал как «дьявольский». Это было в 1935 году. Вот его описание. Пункт первый: поместите кота в коробку.



На коробке находится механизм, основанный на принципе опыта с двумя отверстиями. На этот раз две щели ведут в две закрытые коробки...



Слегка радиоактивный атом направляется в направлении двух коробок: как любая частица, он имеет форму волны (мы постепенно привыкаем к этой идее).

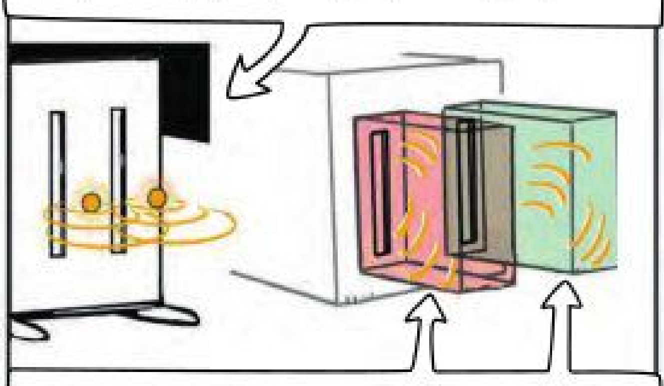


...**полуотражающее** зеркало разделяет атом на две равные волны. Таким образом, любая волна может быть разделена и отклонена.

То есть 50 % волны отклоняются полупрозрачным зеркалом, а затем «обычным» зеркалом в направлении зеленой коробки.

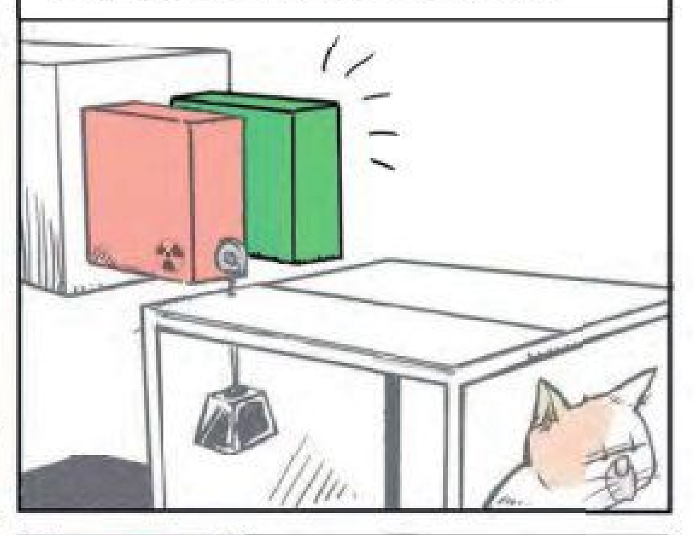
Другая половина атомной волны не отражается (что является причиной полуотражения). Так что эта волна идет прямо в красную коробку.

Такое расщепление волны является стандартной практикой в лабораторной замкнутой системе. Это точный эквивалент эксперимента с двумя щелями, который мы видели ранее.



Тем временем на этот раз каждая полуволна захвачена и блуждает внутри своей коробки.

Если мы попробуем определить ее положение, то атом на 50 % может быть в безвредной зеленой коробке...











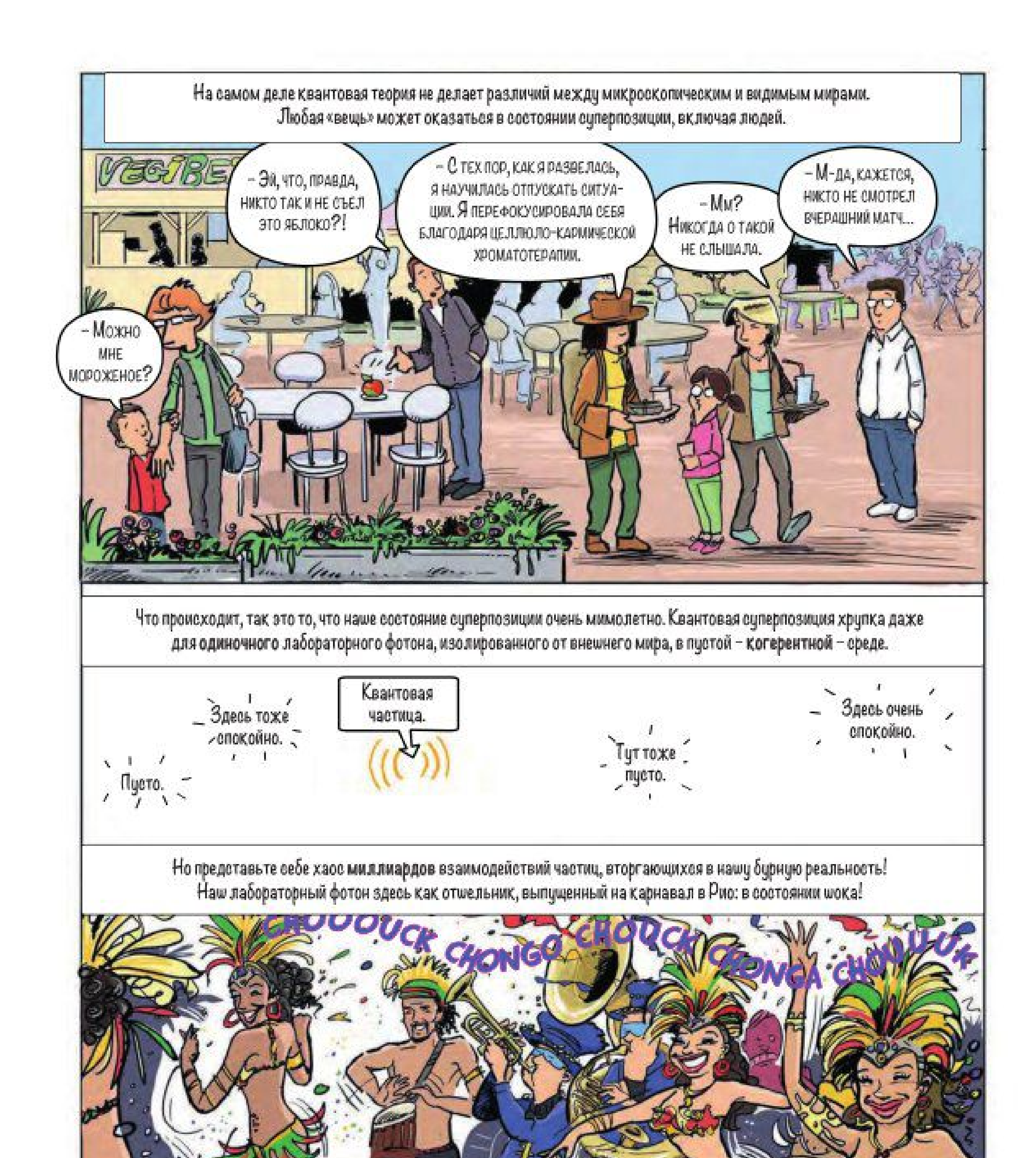
Мертвый и живой кот: никто никогда не видел ничего подобного! И это точно отражает точку зрения Шредингера: в этой интерпретации квантовой механики что-то не так.

– Мррррряу...

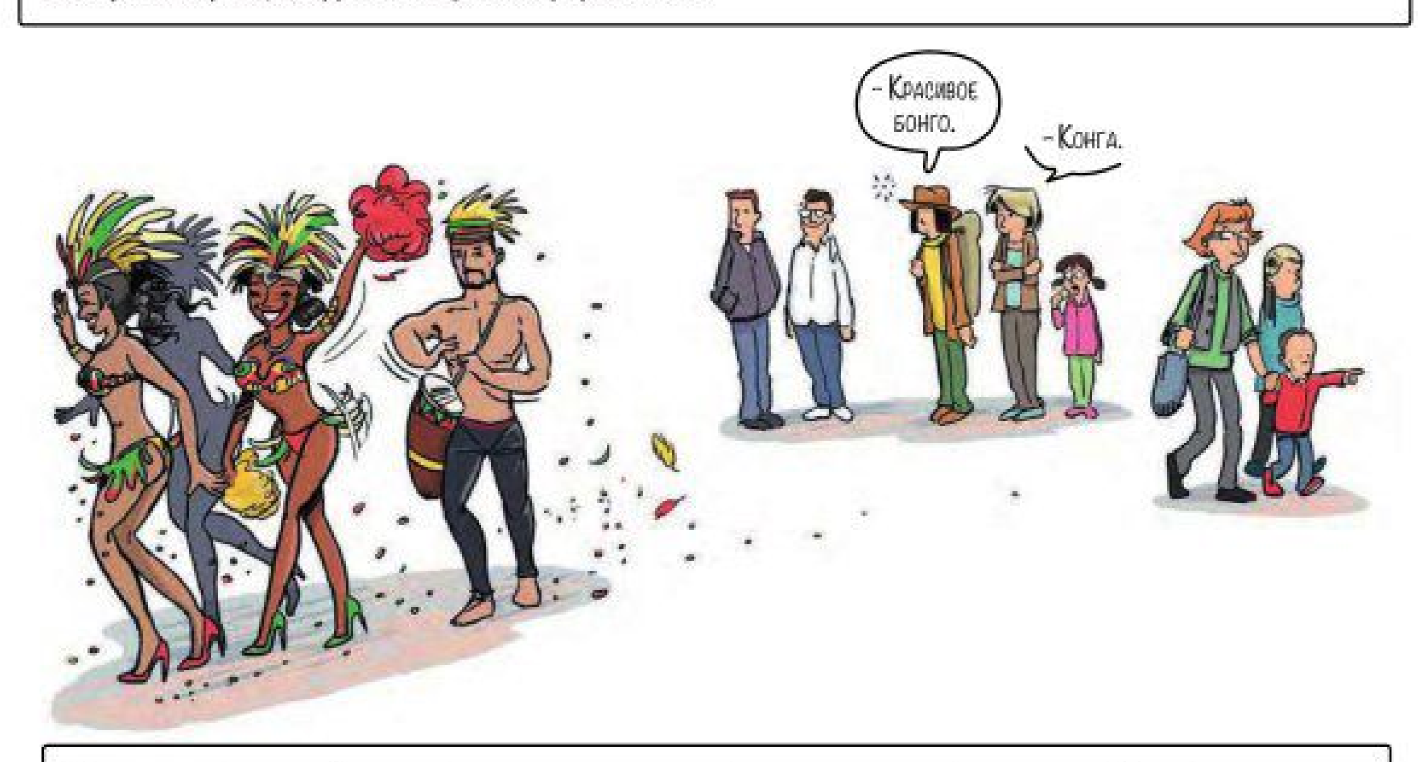


Мы состоим из миллиардов микроскопических частиц. Так почему же то, что происходит на атомном уровне, не происходит в нашем масштабе? И кстати, где заканчивается бесконечно маленькое и где начинается видимый (или макроскопический) мир, наш «нормальный» мир?




На самом деле квантовая теория не делает различий между микроскопическим и видимым мирами. Любая «вещь» может оказаться в состоянии суперпозиции, включая людей.
VEGIBE
– Эй, что, правда, никто так и не съел это яблоко?!
– С тех пор, как я развелась, я научилась отпускать ситуации. Я перефокусировала себя благодаря целлюло-кармической хроматотерапии.
– Мм? Никогда о такой не слышала.
– М-да, кажется, никто не смотрел вчерашний матч...
– Можно мне мороженое?
Что происходит, так это то, что наше состояние суперпозиции очень мимолетно. Квантовая суперпозиция хрупка даже для **одиночного** лабораторного фотона, изолированного от внешнего мира, в пустой – **когерентной** – среде.
Пусто.
Здесь тоже спокойно.
Квантовая частица.
Тут тоже пусто.
Здесь очень спокойно.
Но представьте себе хаос **миллиардов** взаимодействий частиц, вторгающихся в нашу бурную реальность! Наш лабораторный фотон здесь как отшельник, выпущенный на карнавал в Рио: в состоянии шока!
CHOUOUCK CHONGO CHOUCK CHONGA CHOUUUK
Houhouhou houhou houhou

Лабораторный фотон не восстанавливается после шока: столкнувшись с этой обильной средой, его волна почти мгновенно исчезает. Это явление называется **декогеренцией**. Информация о квантовом состоянии, кажется, непрерывно вливается в макроскопическую среду, которая действует как своего рода **постоянный наблюдатель**: суперпозиция останавливается, тогда наша шумная (декогерентная) среда фиксирует квантовую частицу в реальности.



Однако декогеренция не объясняет странности квантовых явлений, в частности их случайных аспектов. И декогеренция не говорит нам, где находится граница между микроскопическим и видимым мирами.



Последние эксперименты показали, что бесконечно малое на самом деле постоянно растет. Увидим это в последней главе.

Декогеренция также не объясняет особых отношений квантовой механики со временем.

Помните, что специальная теория относительности описывает время как «упругое» (глава 2). Но квантовые эксперименты показывают другую грань этого, что столь же странно. (Хотя это не должно вас больше удивлять...)



Глава 7

КОГДА ПРОШЛОЕ ЗАВИСИТ ОТ БУДУЩЕГО

Молодой Док: «Приятно было с вами пообщаться. Может быть, еще пересечемся когда-нибудь в будущем».

Старый Док: «Или в прошлом».

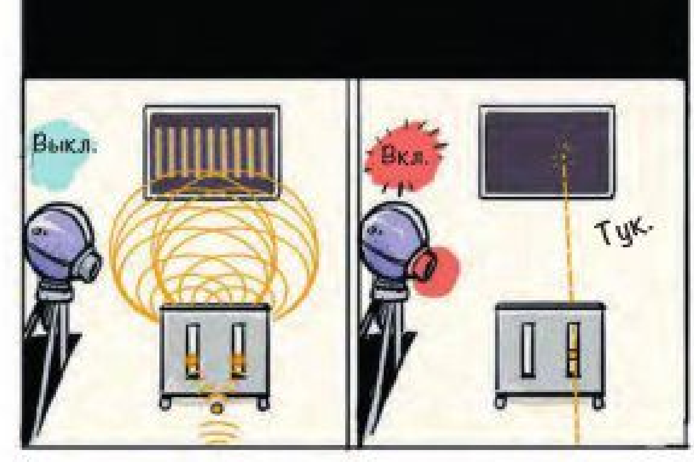
Цитата из фильма Роберта Земекиса «Назад в будущее – 2», 1989 г.



Странное отношение привязки времени в квантовой механике демонстрирует эксперимент с «**отложенным выбором**». На самом деле это версия эксперимента с двумя прорезями, с несколькими простыми дополнительными элементами.

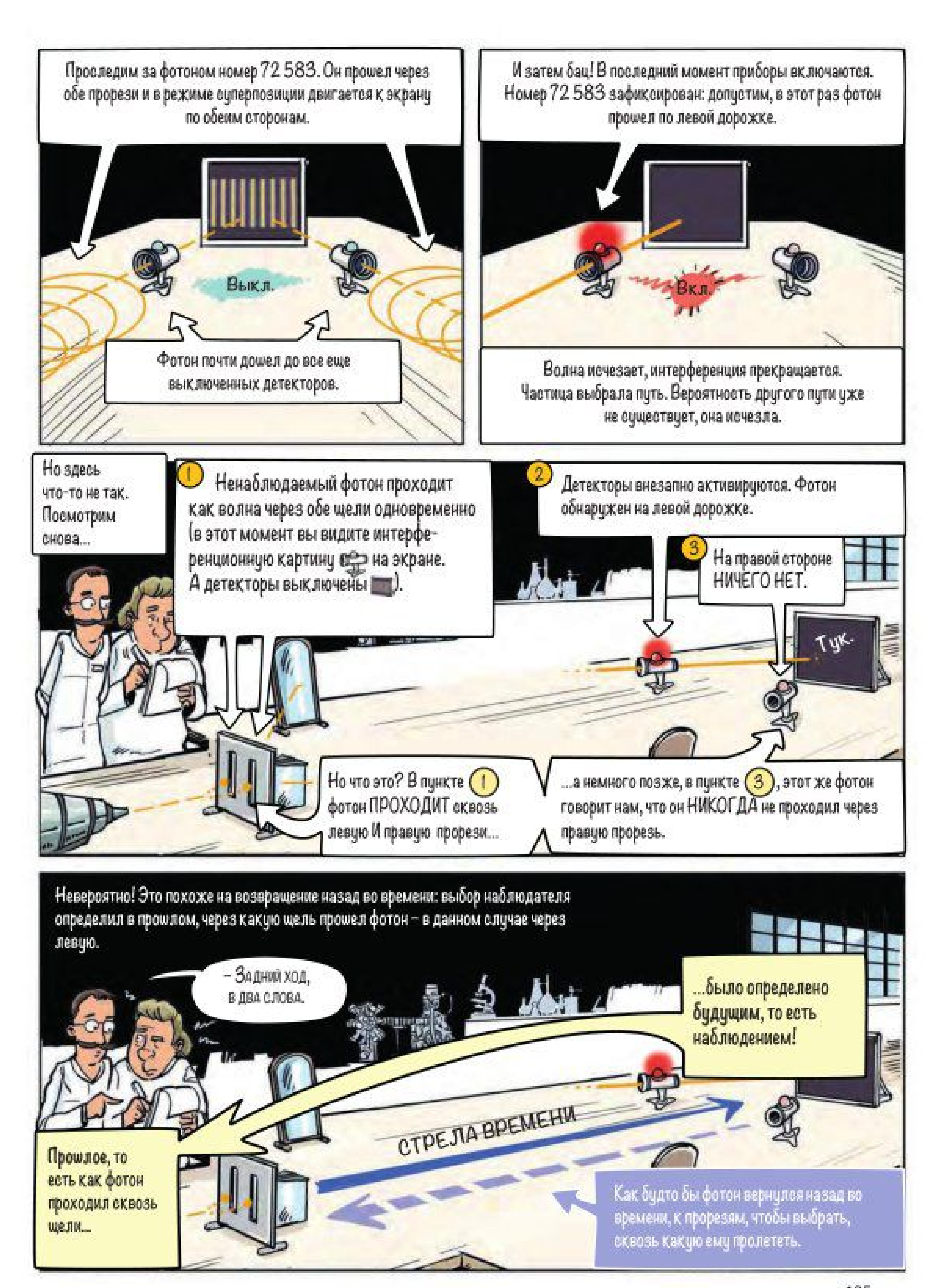


Вспомните наш предыдущий эксперимент: как только над прорезью был включен детектор, волна исчезла, и частицы стали вести себя как частицы материи (так сказать, эффект «тук»).









Проследим за фотоном номер 72 583. Он прошел через обе прорези и в режиме суперпозиции двигается к экрану по обеим сторонам.
Выкл.
Фотон почти дошел до все еще выключенных детекторов.
И затем бац! В последний момент приборы включаются. Номер 72 583 зафиксирован: допустим, в этот раз фотон прошел по левой дорожке.
Вкл.
Волна исчезает, интерференция прекращается. Частица выбрала путь. Вероятность другого пути уже не существует, она исчезла.
Но здесь что-то не так. Посмотрим снова...
1 Ненаблюдаемый фотон проходит как волна через обе щели одновременно (в этот момент вы видите интерференционную картину на экране. А детекторы выключены).
2 Детекторы внезапно активируются. Фотон обнаружен на левой дорожке.
3 На правой стороне НИЧЕГО НЕТ.
Тук.
Но что это? В пункте 1 фотон ПРОХОДИТ сквозь левую И правую прорези...
...а немного позже, в пункте 3, этот же фотон говорит нам, что он НИКОГДА не проходил через правую прорезь.
Невероятно! Это похоже на возвращение назад во времени: выбор наблюдателя определил в прошлом, через какую щель прошел фотон – в данном случае через левую.
– Задний ход, в два слова.
...было определено будущим, то есть наблюдением!
СТРЕЛА ВРЕМЕНИ
Прошлое, то есть как фотон проходил сквозь щели...
Как будто бы фотон вернулся назад во времени, к прорезям, чтобы выбрать, сквозь какую ему пролететь.

Помните, что, когда фотон прошел сквозь щели, детекторы еще не были включены: «Все происходит так, как если бы фотоны могли регулировать свое поведение в прошлом в зависимости от нашего выбора включить или выключить детектор», – объясняет физик Брайан Грин.







Его задача – стереть информацию, полученную детектором. И таким образом уничтожить любую возможность узнать, в какую сторону пошел фотон.



И знаете, что? Как только скремблер включается, волна снова появляется. Как будто фотон «знал», что мы больше не можем определить его положение.



Таким образом, даже при косвенном измерении, применяемом без контакта на расстоянии, частицы – фотоны, электроны, нейтроны и т. д., – кажется, не только знают, смотрим ли мы на них, но и могут угадать тайные намерения наблюдателя, демонстрируя что-то вроде **ретроспективности** и зависимости прошлого от будущего.



Чтобы получить практическое представление об увлекательных последствиях отсроченного выбора...

...давайте уйдем от лабораторий и наносекунд...

...и представим, что маленький Бастиан – это частица.

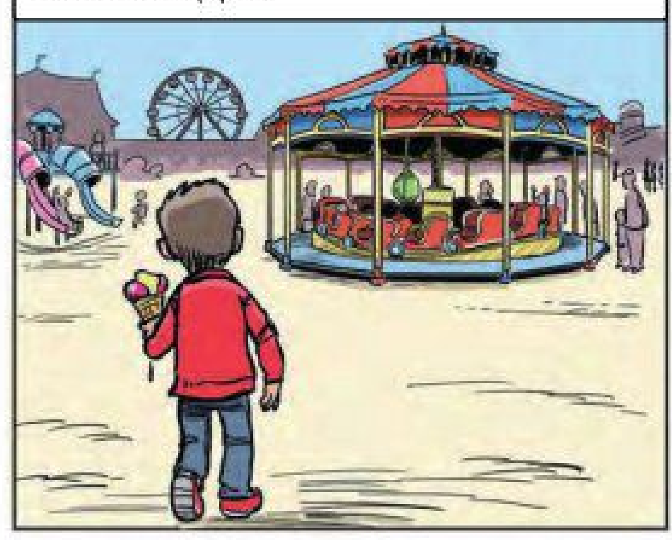




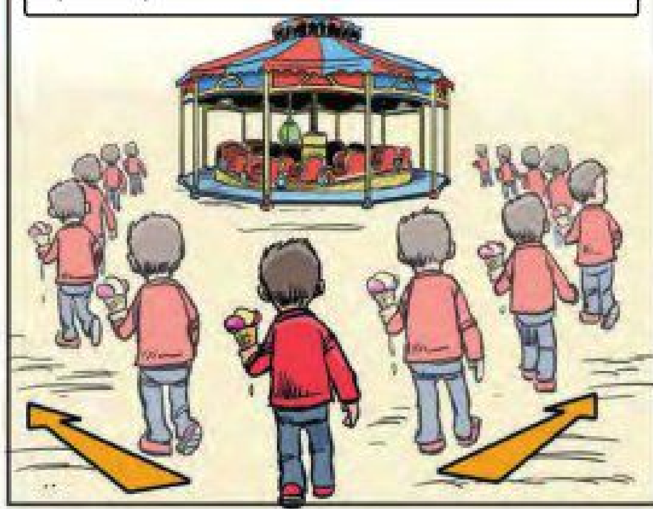


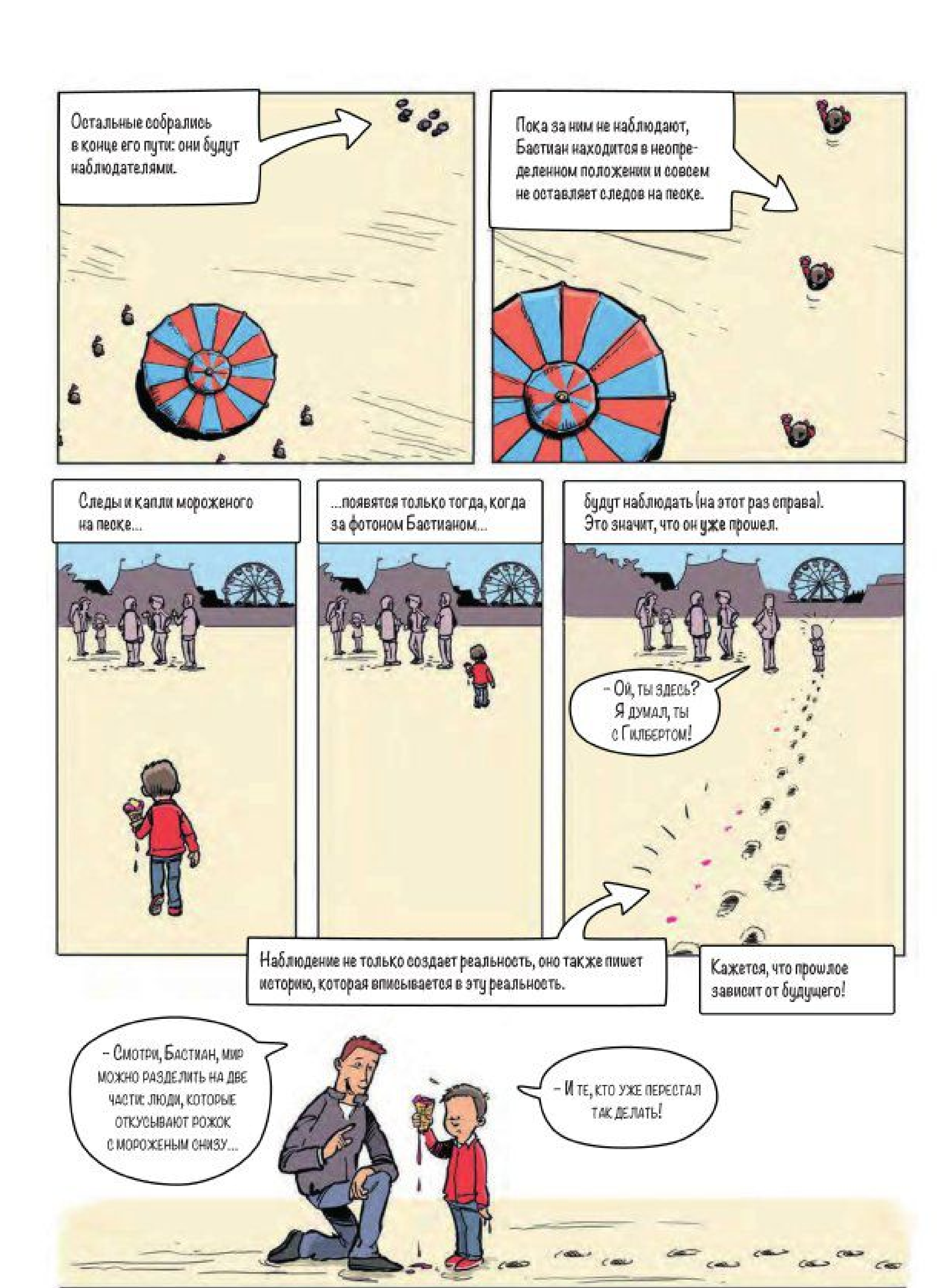


Это карусель. Она будет играть роль разделителя, так же, как и двойные прорези.



Бастиан может обойти ее либо слева, либо справа. Или, как частица, в суперпозиции он идет и по левой, и по правой дорожке.




Остальные собрались в конце его пути: они будут наблюдателями.
Пока за ним не наблюдают, Бастиан находится в неопределенном положении и совсем не оставляет следов на песке.
Следы и капли мороженого на песке...
...появятся только тогда, когда за фотоном Бастианом...
будут наблюдать (на этот раз справа). Это значит, что он уже прошел.
– Ой, ты здесь? Я думал, ты с Гилбертом!
Наблюдение не только создает реальность, оно также пишет историю, которая вписывается в эту реальность.
Кажется, что прошлое зависит от будущего!
– Смотри, Бастиан, мир можно разделить на две части: люди, которые откусывают рожок с мороженым снизу...
– И те, кто уже перестал так делать!

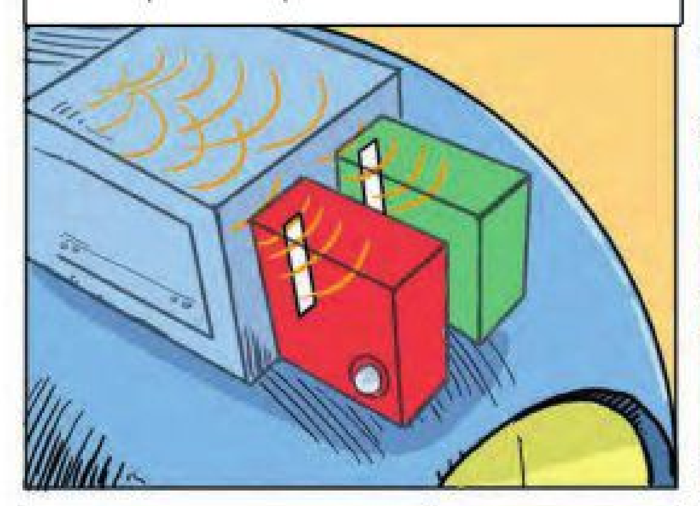

Давайте сделаем один шаг назад по шкале времени, с невероятным, изумительным аттракционом. Мы назовем его... Quantum Bucket Challenge.
QUANTUM BUCKET CHALLENGE
– ?!!... Да они знают толк в маркетинге!

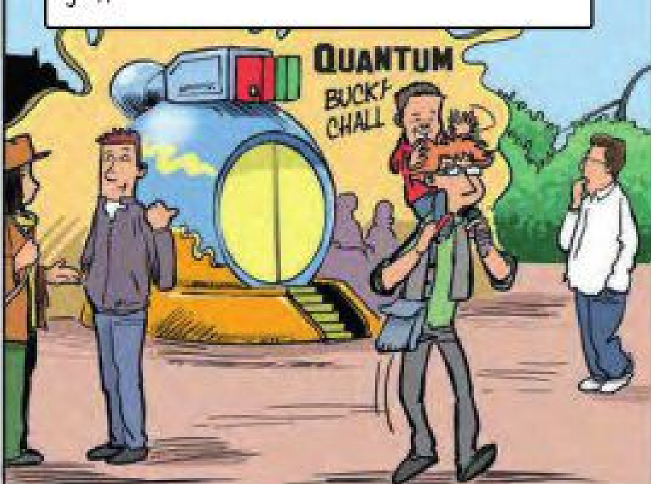

Этот странный аттракцион строится на нашей версии кота Шредингера: две прорези, ведущие в красную и зеленую коробки.

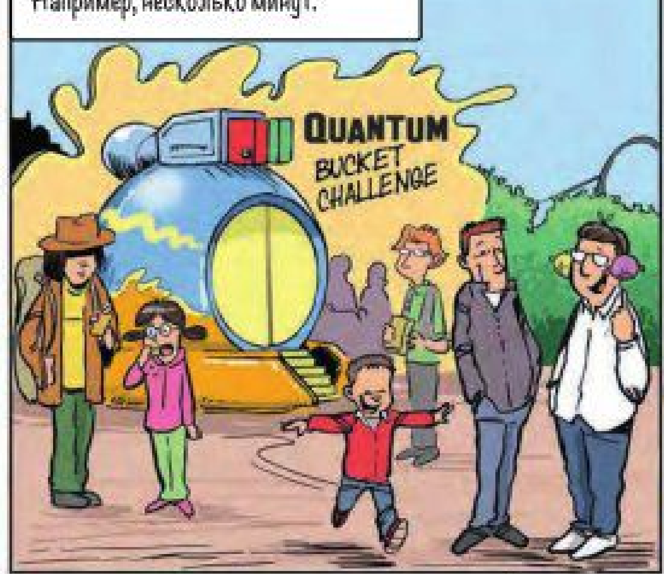

И снова, зеленая коробка безвредна.
– Пойдем?

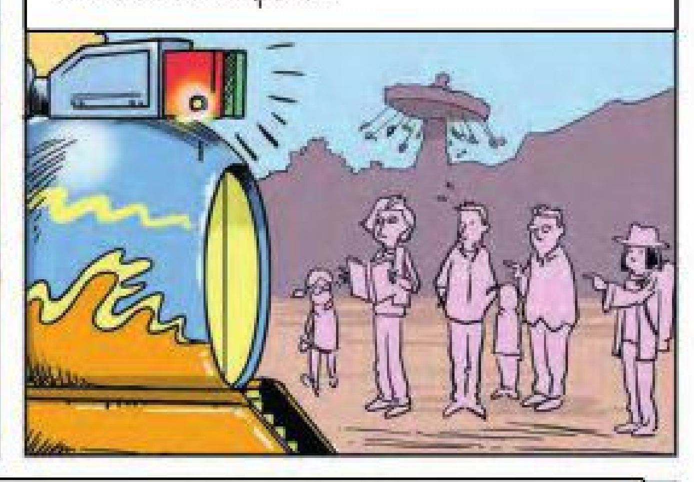

Тем временем в красной коробке...
...детектор фотонов...,
...к которому присоединен резервуар с краской.

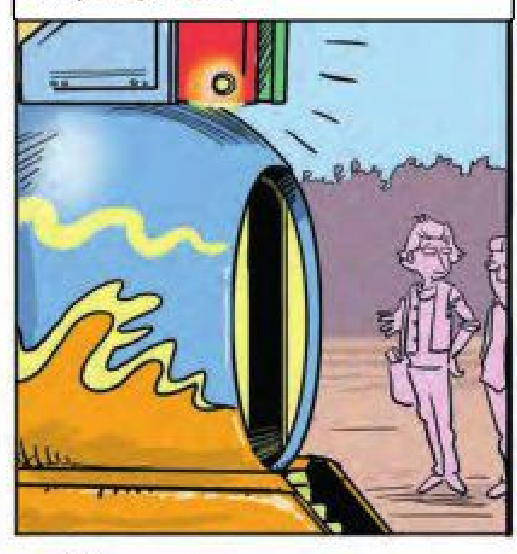

Если обнаруживается фотон, резервуар выливает оранжевую краску. Она не держится на вас долго, исчезая через 15 минут.


Итак, начнем! На данный момент детектор выключен. Волна прошла сквозь двойные щели и остается заблокированной в **обеих** коробках в неопределенном состоянии.

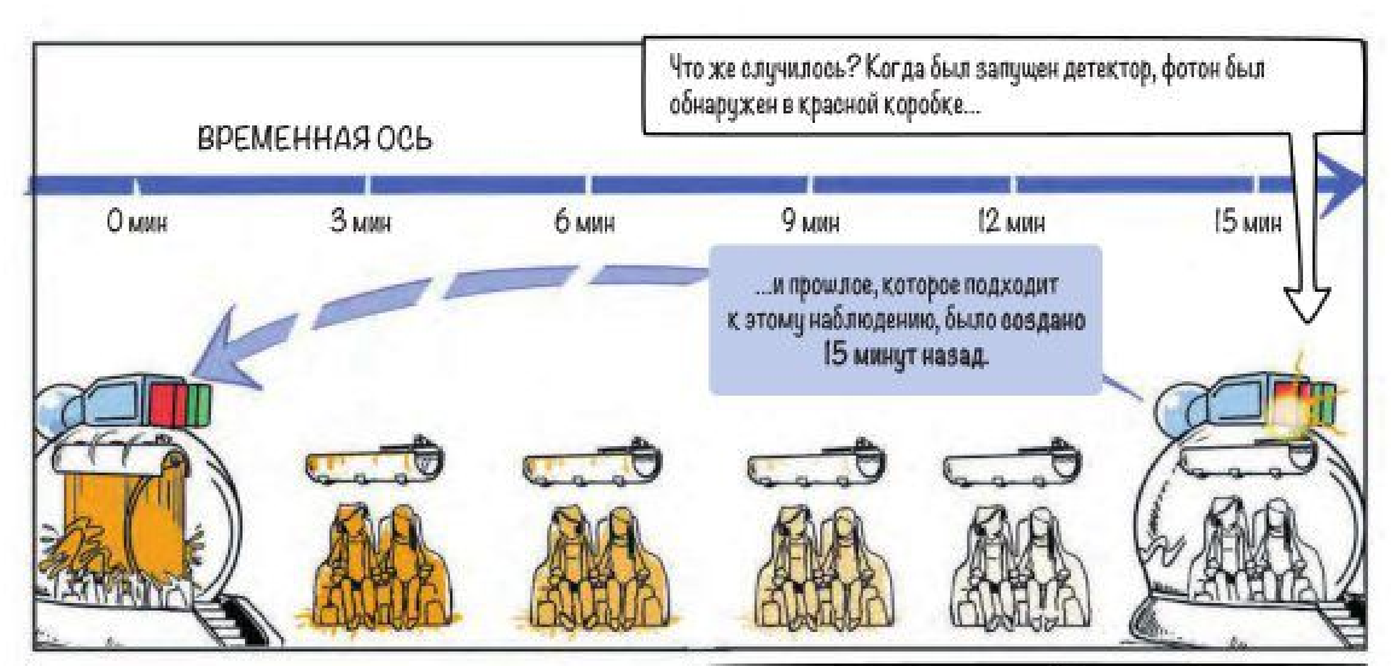

Мы можем подождать и наблюдать. Когда волна находится в коробках, мы можем ждать сколько угодно.
QUANTUM


Например, несколько минут.
QUANTUM
BUCKET
CHALLENGE

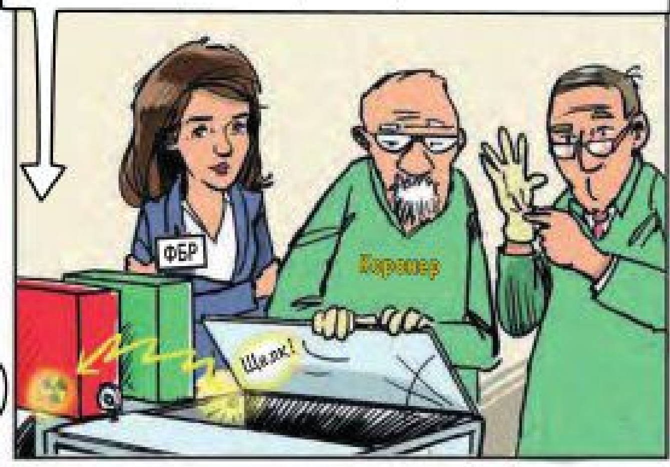

Прошло пятнадцать минут, итак, включим детектор. Фотон покидает свое неопределенное квантовое состояние и фиксируется в одном положении. Он в красной коробке? Или в зеленой?.. В красной!


Итак, Зои и Люс облиты литрами краски. Дверь открывается.


Но, к удивлению, они выходят оттуда без единого пятна!
?!!
??











*При создании этого комикса ни один кот не пострадал.

Пойдем еще дальше. В 1970-х годах физик Джон Уилер представил эксперимент с отложенным выбором – межгалактический! Чтобы выполнить его, вам понадобится: квазар в дальнем конце Вселенной, очень массивная галактика и наша Земля. Все идеально выровнено.

1 Находясь в миллиардах световых лет от нас, квазар посылает фотоны.

2 Благодаря своей массе (см. стр. 53–54), галактика отклоняет фотоны. Их траектория пролегает либо через верх, либо через низ галактики с вероятностью 50 на 50 – как и в эксперименте с двойными прорезями.

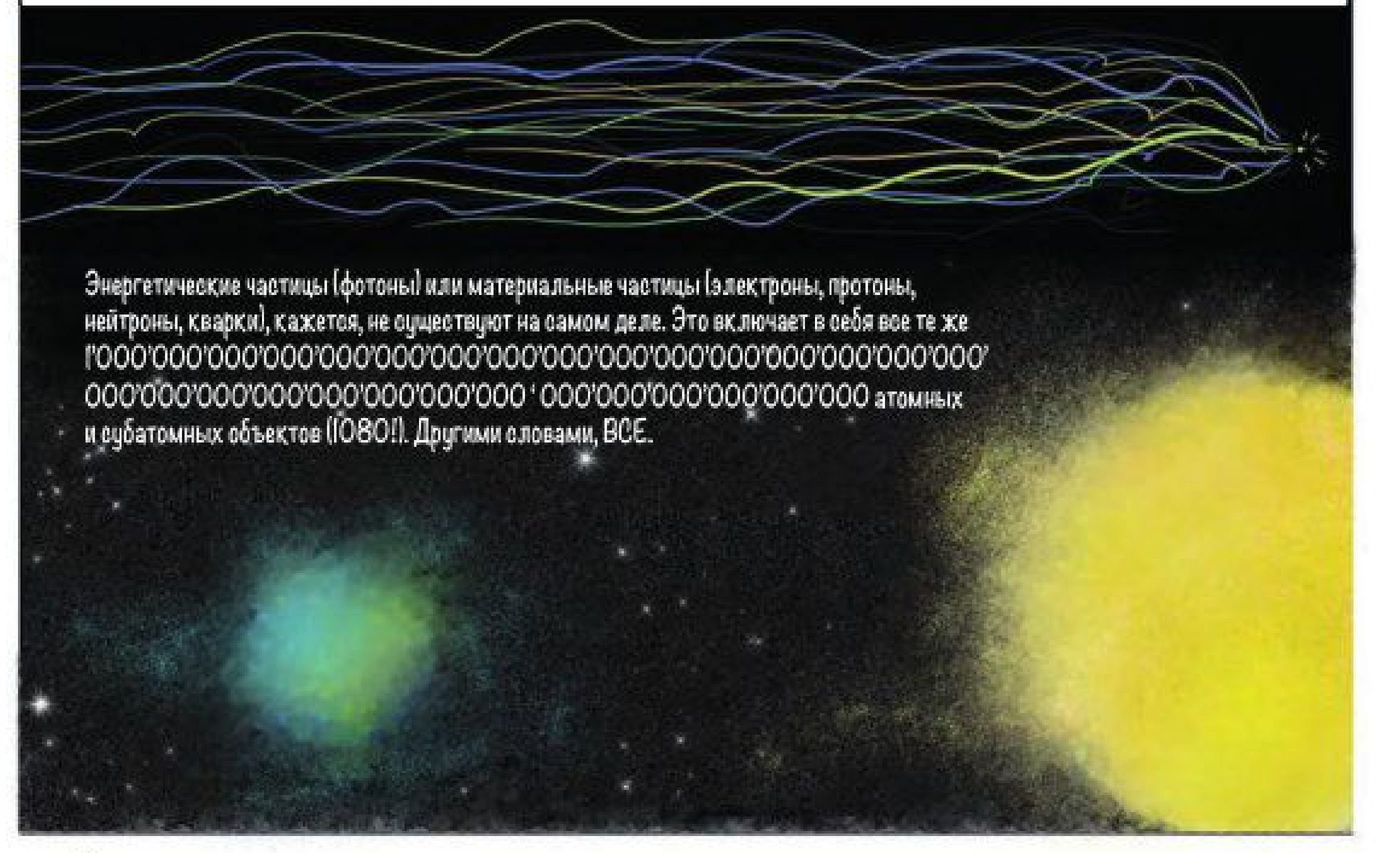


3 На Земле, если телескопы будут наблюдать фотоны, они определят путь, по которому они следуют – верх или низ. Затем волна исчезнет.



Вопрос: по какому пути прошли фотоны? Согласитесь, что решение каждого фотона, с какой стороны обойти галактику, было принято миллиарды лет назад. Это произошло до того, как на Земле появилась жизнь! Тем не менее этого на самом деле не происходило до тех пор, пока мы сегодня не посмотрели в телескоп! Все эти миллиарды лет фотоны находились в неопределенном вероятностном состоянии.

Итак, прошлое, похоже, зависит от настоящего, но меняет ли настоящее прошлое? Не в классических терминах. Мы должны расширить нашу точку зрения и рассматривать прошлое как нечто иное, чем выравнивание конкретных событий: согласно квантовой физике, прошлое и будущее не определены. Они составлены из множества возможных линий истории, из которых материализуется только одна.



Энергетические частицы (фотоны) или материальные частицы (электроны, протоны, нейтроны, кварки), кажется, не существуют на самом деле. Это включает в себя все те же 1'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000'000 ' 000'000'000'000'000'000 атомных и субатомных объектов (10^{80}!). Другими словами, ВСЕ.



Стивен Хокинг утверждает, что у вселенной нет единого прошлого: «Тот факт, что прошлое не имеет определенной формы, означает, что наблюдения, которые вы проводите в системе в настоящем, влияют на ее прошлое».

NO FUTURE SEX PISTOLS

"NO PAST" STEPHEN HAWKING

– С таким же принтом у нас есть кружки и вязаные салфетки.

– Вязаны... Не-е-е-ет!

Нет возможности удалить наблюдателя – нас! – от нашего восприятия реальности. Наш мир подчиняется квантовым законам, а не классическим законам Ньютона или Максвелла. Сегодня мы знаем, что это всего лишь приблизительные значения.

– Сид Вишес на вязаной салфетке!!!

– Ты только что свел к нулю дух панковской культуры в одном предложении!

– В искусстве сбыта не существует приличий.

– Э-э-э... Ну...

– На память!

– Кто такой Сид Вишес?


Кажется, что на уровне бесконечно малого времени не существует.
Но как же тогда время появляется на нашем уровне, когда оно, казалось бы, не существует в мире частиц? Особенно если вспомнить, что они являются строительным материалом для всей материи и энергии во вселенной?

Какой он – мир, лежащий за пределами нашего восприятия? Есть ли реальность, которая существует вне времени?

А что касается пространства?



Глава 8

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ПРОСТРАНСТВО?

«Ради всего святого, как две области пространства (...) знают, что происходит в другой? Взаимосвязи (...) как будто выпадают из понятия пространства-времени».

Николя Гизин, физик, специалист по квантовой запутанности и криптографии




Видите это колесо фортуны? Давайте представим, что при каждом вращении оно ведет себя как частица, например как электрон... Ладно, как большой... ОГРОМНЫЙ электрон.
– Играйте и выигрывайте множество призов!
– Наших потрясающих домашних роботов!
– Наши подарки-сюрпризы!
– Наши наборы туалетного мыла! (вздох)


Когда колесо вращается, оно кажется нечетким, неопределенным. Это создает оптическую иллюзию суперпозиции: и розовое, и желтое. Немного похоже на то, как кот Шредингера и мертв, и жив.


Когда колесо останавливается, оно фиксируется в реальности, как могла бы сделать наблюдаемая частица.
– Итак, победителем становится... Восьмерка, розовый!
– Восьмерка, розовый! Женский день!


– Женский день?
(опять вздох)
– В Бинго Холле мне хотя бы не приходилось работать, надевая эту смехотворную... вещь.
– О чем ты сейчас?

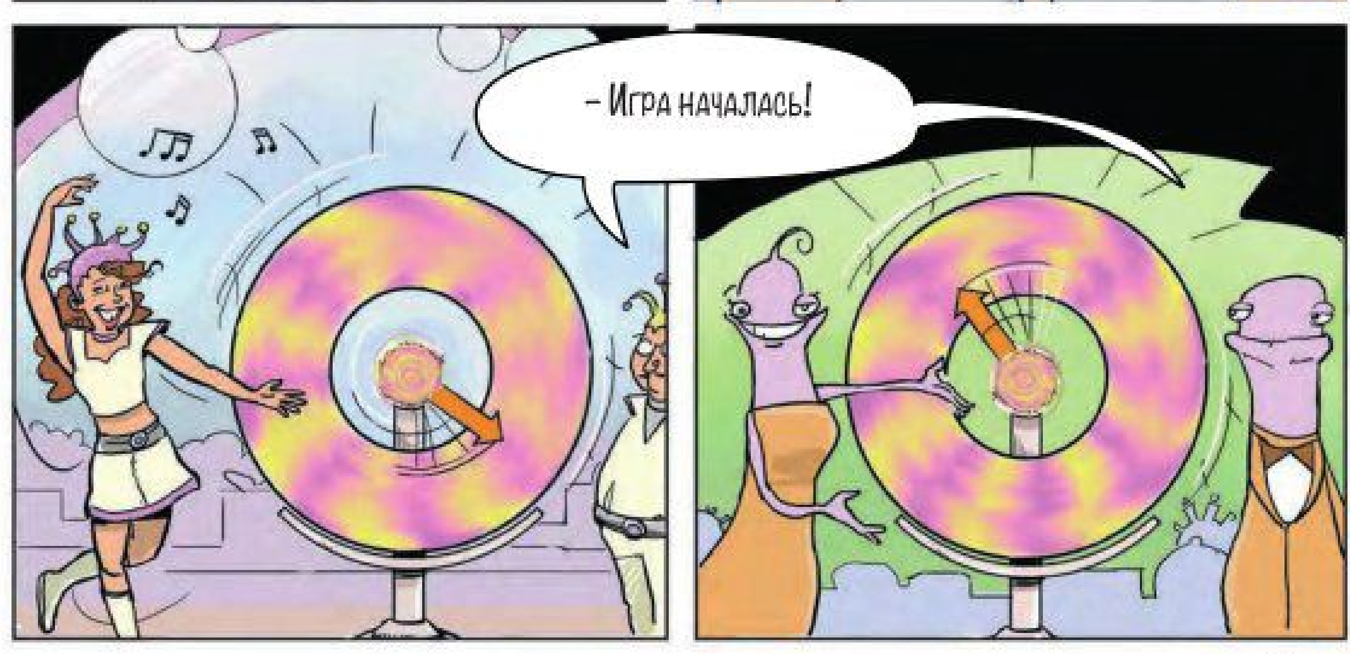

– Почему у дяди на голове глупая плавательная шапка?
(и снова вздох)

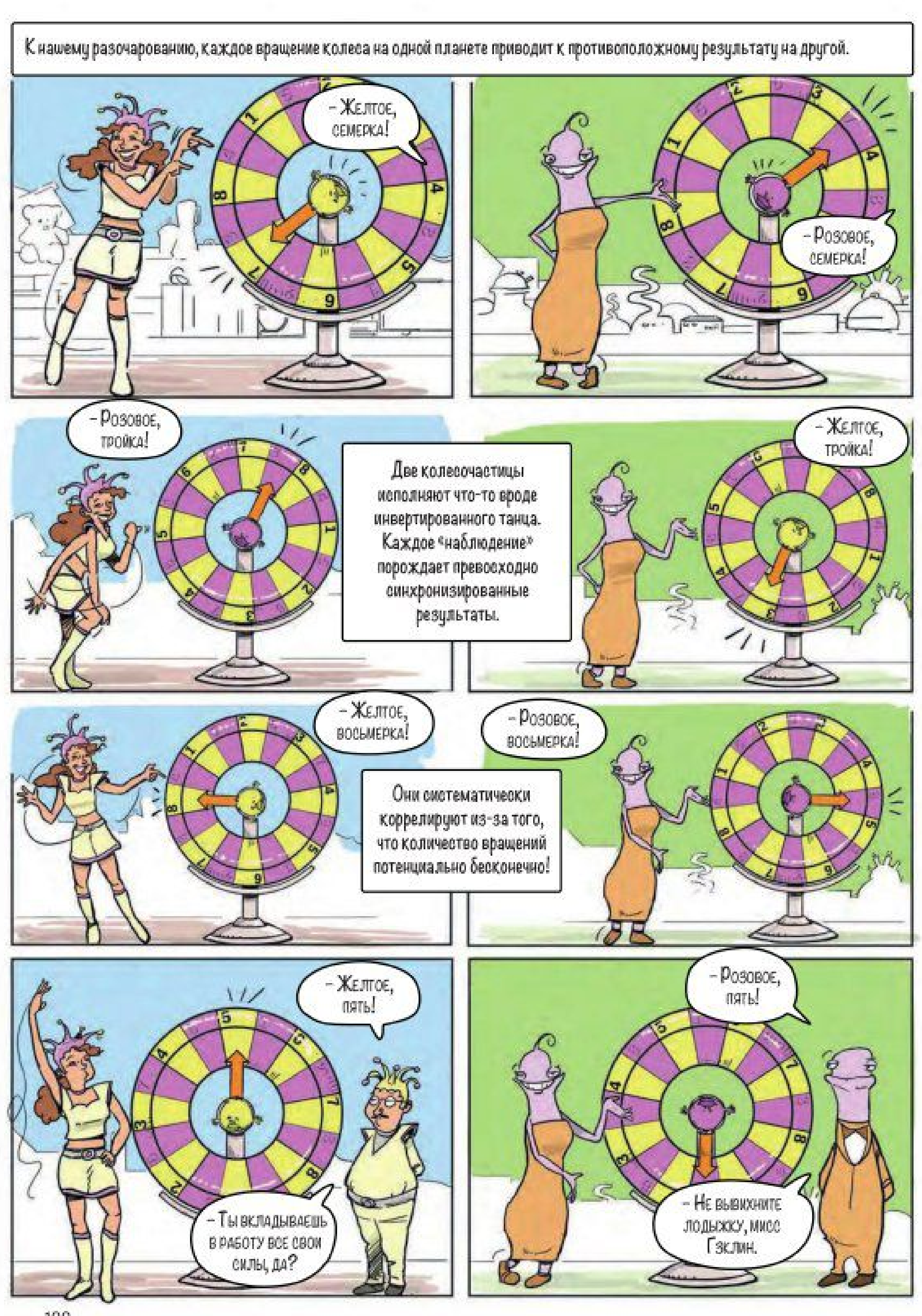

– Одна ставка дает вам шанс на пять розыгрышей!
– Розовое, четверка!
– Желтое, два!
– Я возьму желтое, пять.

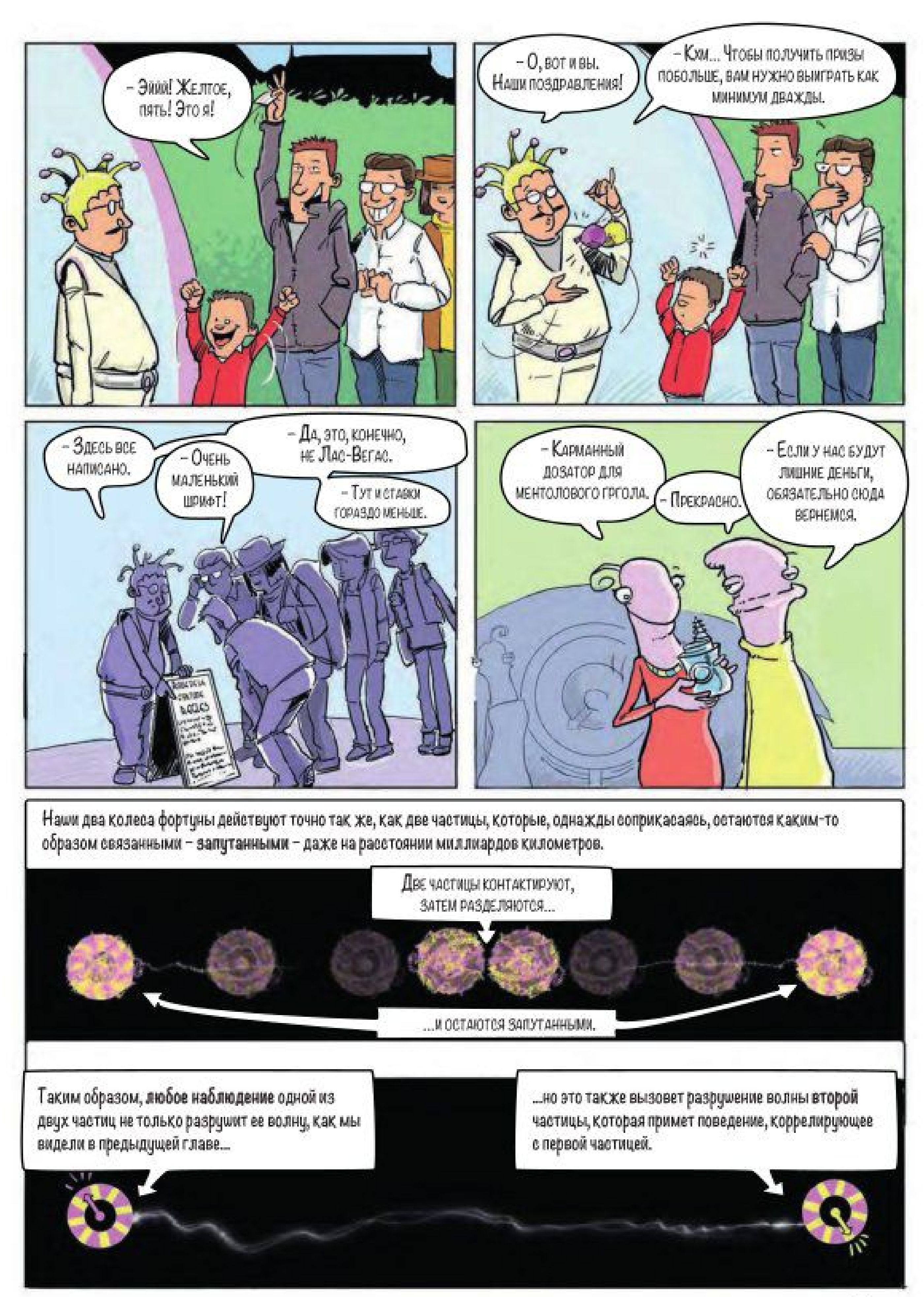

– Эй, манчкин, вообще, это циркониевый шлем и бластер... Но тссс!

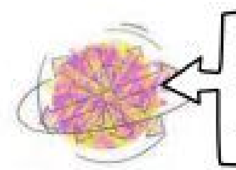

Давайте допустим, что наше электронное колесо «связано» с другим колесом в дальнем конце вселенной.
– Ставок больше нет!
– Именем Годплока, ставок больше нет!
Много-много миллиардов миллиардов километров


На ЗГмоксе тоже вращается колесо.
– Выигрывайте прекрасные гфоблги на подушках!

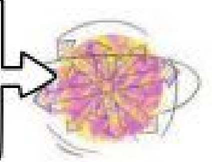

– Игра началась!


К нашему разочарованию, каждое вращение колеса на одной планете приводит к противоположному результату на другой.
– Желтое, семерка!
– Розовое, семерка!
– Розовое, тройка!
Две колесочастицы исполняют что-то вроде инвертированного танца. Каждое «наблюдение» порождает превосходно синхронизированные результаты.
– Желтое, тройка!
– Желтое, восьмерка!
Они систематически коррелируют из-за того, что количество вращений потенциально бесконечно!
– Розовое, восьмерка!
– Желтое, пять!
– Ты вкладываешь в работу все свои силы, да?
– Розовое, пять!
– Не вывихните лодыжку, мисс Гэклин.


– Эййй! Желтое, пять! Это я!
– О, вот и вы. Наши поздравления!
– Кхм... Чтобы получить призы побольше, вам нужно выиграть как минимум дважды.
– Здесь все написано.
– Очень маленький шрифт!
– Да, это, конечно, не Лас-Вегас.
– Тут и ставки гораздо меньше.
– Карманный дозатор для ментолового гргола.
– Прекрасно.
– Если у нас будут лишние деньги, обязательно сюда вернемся.
Наши два колеса фортуны действуют точно так же, как две частицы, которые, однажды соприкасаясь, остаются каким-то образом связанными – **запутанными** – даже на расстоянии миллиардов километров.
Две частицы контактируют, затем разделяются...
...и остаются запутанными.
Таким образом, **любое наблюдение** одной из двух частиц не только разрушит ее волну, как мы видели в предыдущей главе...
...но это также вызовет разрушение волны **второй** частицы, которая примет поведение, коррелирующее с первой частицей.



В невидимом мире запутанность распространяется на спин электронов, которые имеют своего рода ось вращения, которая движется во всех возможных направлениях одновременно! (Квантовая физика безнадежно странна.)



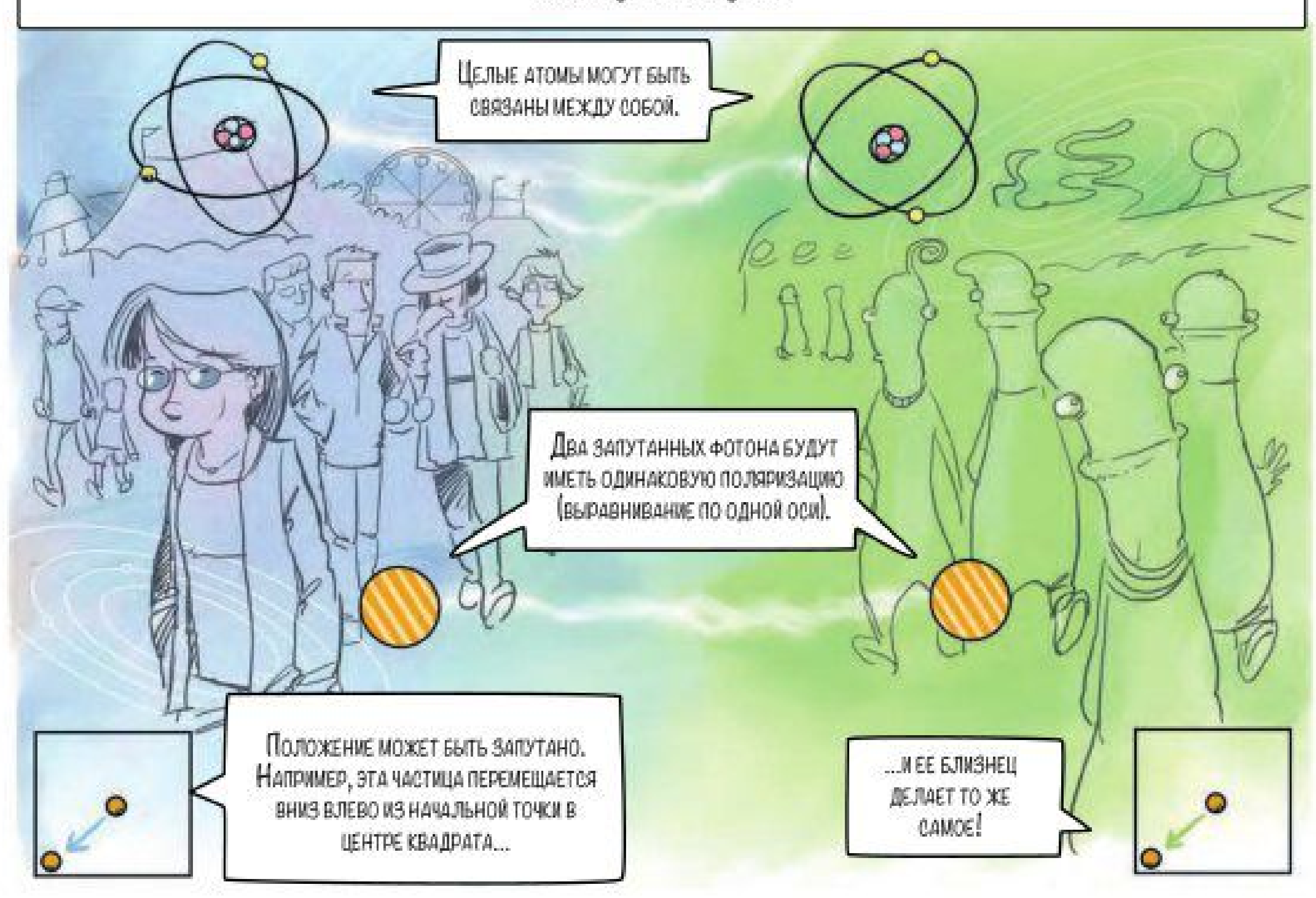


После наблюдения (под определенным углом) спин зафиксируется в **«вверху»** или **«внизу»**.

Мгновенно его близнец показывает обратный спин, так же, как и на колесах фортуны.



Явление запутанности также замечено для фотонов или даже целых атомов. Фактически любая частица может быть запутана. Различные свойства, такие как **вращение**, **поляризация**, **скорость**, **энергия** или **положение**, тоже могут быть запутаны.



А еще наши частицы – давайте назовем их Алисой и Бобом – могли бы также исполнить чечетку. Это даже не будет самым большим сюрпризом. Настоящая проблема в том, что наблюдение за объектом создает **мгновенную реакцию** другого объекта, независимо от расстояния между ними.



В чем проблема? Квантовая теория говорит, что наблюдение в одном месте может влиять на состояние системы в другом месте, даже на другом конце вселенной. Но как это возможно? Со скоростью света потребуются миллиарды лет, чтобы передать хотя бы крошечный объем информации.



Так как?? Через какие-то таинственные «призрачные действия» на расстоянии? Это нарушило бы закон специальной относительности, согласно которому ничто не движется быстрее света (как мы видели в главе 1).



Эйнштейн был противником этой идеи «призрачных действий». Он чувствовал: если и кажется, что такое существует, то это только из-за неполного квантового описания. Его гипотеза была довольно простой:



Другими словами, свойства обеих частиц влияли друг на друга с самого начала, так же, как левая перчатка предполагает наличие правой перчатки, вне зависимости, наблюдаем мы их или нет.

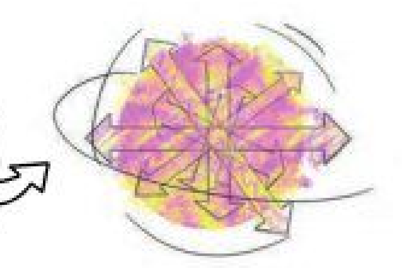



Таким образом, частицы будут действовать в соответствии с **локальными скрытыми переменными**. «Локальные» означает, что они существовали и до разделения частиц. А «скрытые» – что они не были обнаружены человеческой наукой. Короче, своего рода производственная тайна...
HALL SECTOR 5
– Эти два почти готовы. Левое доставим на планету Земля, второе – на ЗГмокс.

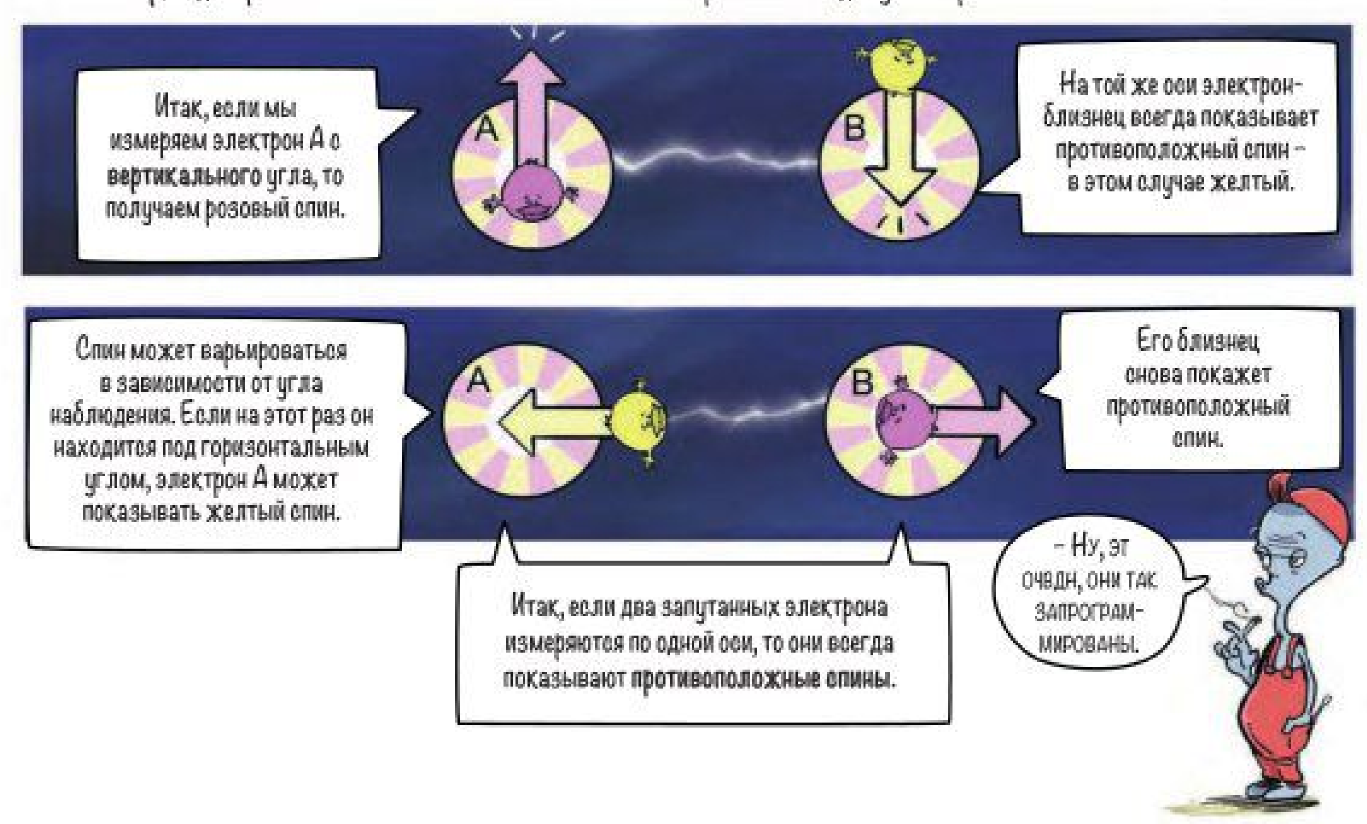

Природа, должно быть, с самого начала организовала эту неизвестную связь между двумя сущностями. Этот механизм будет работать независимо от расстояния.
– И они будут связаны?
– Ого, нет!.. Вы можете увидеть проблему, когда они будут в миллиардах световых лет друг от друга!.. Нет, нет... На самом деле каждое колесо имеет программное обеспечение для синхронизации.
– С двойными петлями гипер птувлокстко... в общем, классика.


По словам Эйнштейна, частицы не связаны. Они скрывают секретный механизм, своего рода программу координации, которую однажды может открыть наука, тем самым завершив квантовую теорию.
– Благодаря этой программе колеса отлично скоординированы!
– Прекрасный механизм, м?
– Из какой уж вы газеты?
– Галактический вестник.

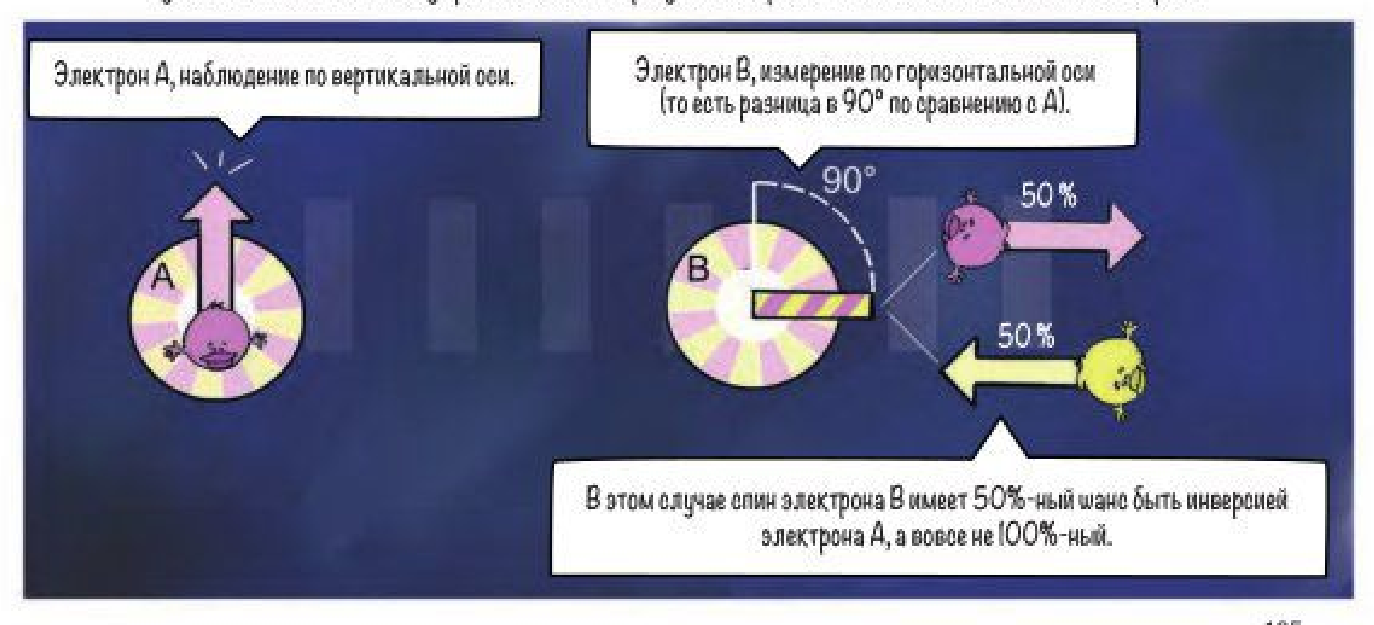
Существует ли эта секретная программа? Например, это будет означать, что спины электронов А и В в их неопределенном состоянии **уже определены**, даже если мы их не измеряли. Есть способ, которым мы могли бы доказать это...



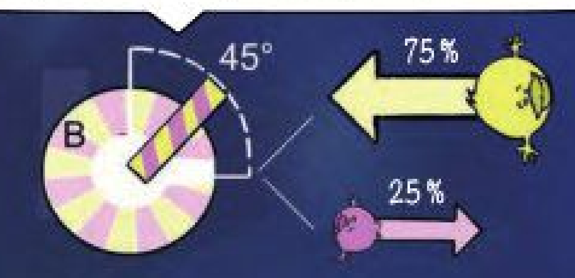
Помните, что наблюдение электрона под определенным углом **заставляет** его спин выбирать одно направление вдоль этой оси: **вверх** (здесь розовый) или **вниз** (желтый). Мы можем измерить только один угол за раз:



Вот в чем вопрос: существовали ли эти значения **до наблюдения**? В результате изобретательный физик по имени Джон Белл создал своего рода статистическую игру. Идея состоит в том, чтобы наблюдать запутанные электроны с двух разных углов и записывать частоту противоположных результатов (розовый или желтый). Давайте посмотрим...







Уравнение типа «x ≤ 3/4» является математическим неравенством*, неравенством Белла. Оно утверждает, что при разнице углов 45° между A и B их спины будут противоположными максимум в 3 раза из 4, и никогда больше! Вычисление включает в себя все возможные комбинации, поэтому теоретически 75 % являются абсолютным математическим пределом.



Но этот предел фактически может быть нарушен: одна и та же скорость для двух запутанных частиц, измеренная в лаборатории, возрастает до 85 %! Ни одна программа, основанная на локальных скрытых переменных, не может сделать это, какой бы сложной она ни была.

Так что локальных переменных не существует! Никаких «определенных» свойств не существует: частицы выбирают эти свойства в тот момент, когда они измеряются, **и взаимно влияют друг на друга на расстоянии.**



Это все равно, что положить пять шариков в коробку, помеченную буквой «A». Из них, скажем, три розовых.



Вскоре вы достаете... четыре розовых шара: шар сам по себе изменил цвет! Никакая математическая логика не может объяснить это.



Более того: вы обнаружите ту же перемену в коробке «B».



Итак, нелокальные корреляции связывают запутанные частицы. Давайте визуализируем эту концепцию, используя наши «танцующие» электроны, Алису и Боба, которые разделены миллиардами километров.



Притворимся, что не наблюдаем за ними – они находятся в неопределенном состоянии.



*Если «x = 3/4» – это равенство, то «x ≤ 3/4» – это неравенство. Все очень просто.



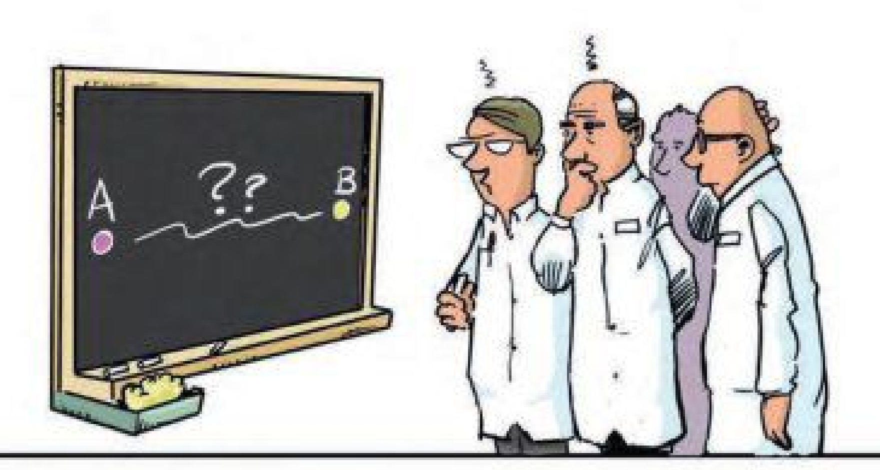
Алиса не посылала Бобу секретный код «шляпка-трость». И Боб также не передавал Алисе никаких сообщений. Вот что произошло, по словам физиолога Николаса Гизина: Алиса и Боб на расстоянии вместе сгенерировали код, который одновременно материализовался с обеих сторон.

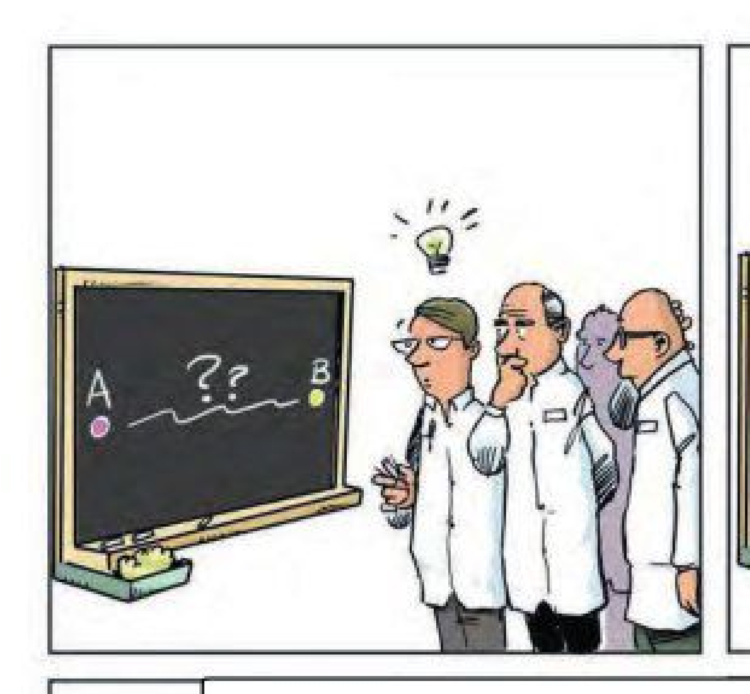


Эйнштейн был прав в одном: частицы не общаются. В этом смысле нет конфликта с законом специальной теории относительности. Хотя он ошибался в отношении остального: нет локальных переменных, объясняющих корреляции. Квантовые объекты связаны «нелокальным» образом. Отлично. Но это все еще не отвечает на вопрос: как эти проклятые частицы могут синхронизироваться?!?



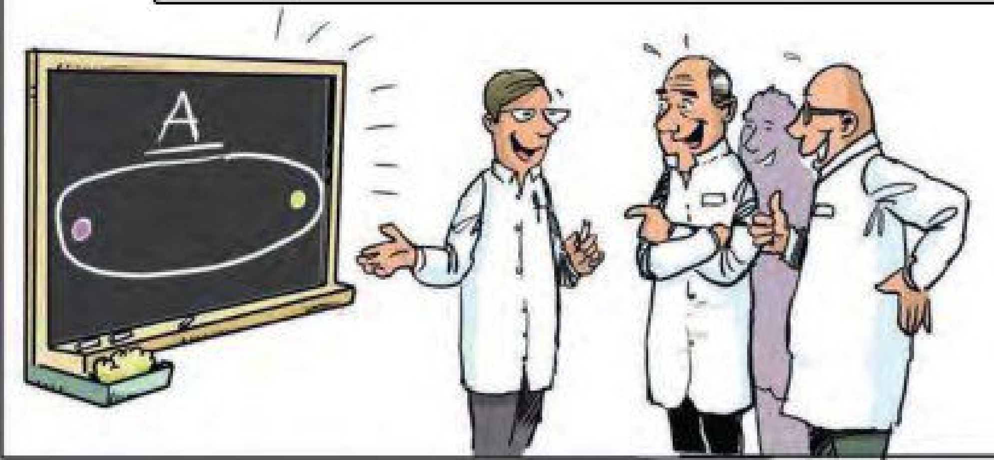
Для научного сообщества этот случай казался таким же необъяснимым, как турист в водолазке на французском Лазурном берегу в самые жаркие дни июля. Но гораздо более огорчительным.





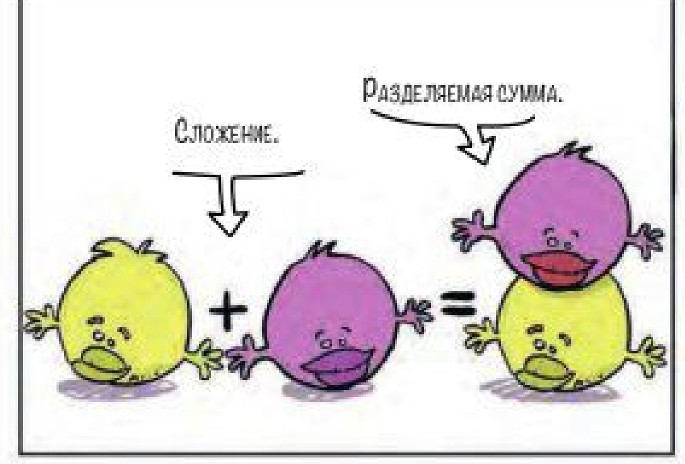


Идея состоит в том, что нет **двух** взаимозависимых частиц на расстоянии, они представляют собой **одну единую** сущность. Два запутанных объекта не должны рассматриваться отдельно.

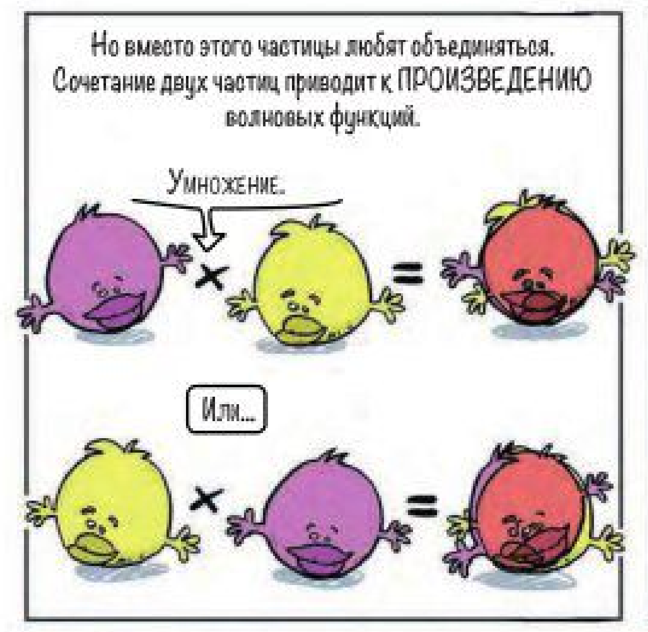


По сути, это ничего не решает... Но как-то обнадеживает.

Как это работает? Что ж, в нашем видимом мире все является **суммой** частей. Каждый объект локализован в одном месте. Даже если они сложены вместе, каждый сохраняет свою независимость.






Но вместо этого частицы любят объединяться. Сочетание двух частиц приводит к ПРОИЗВЕДЕНИЮ волновых функций.
Умножение.
Или...

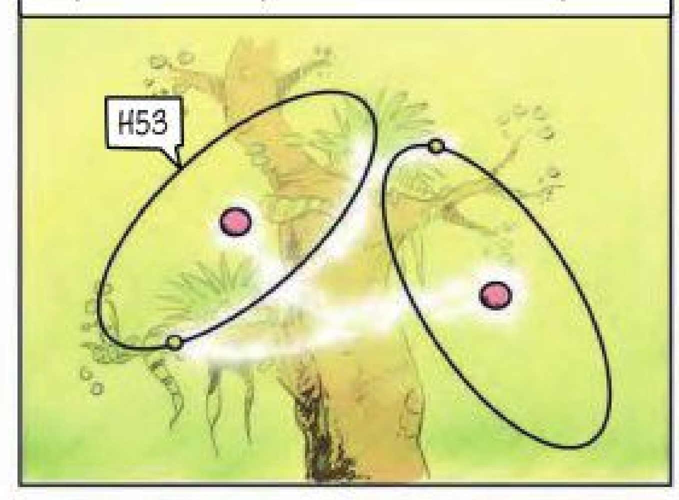

В этом случае невозможно привести результирующую волновую функцию обратно к двум волнам, которые соответствуют каждой из частиц. Сумма двух, кажется, сплетает их вместе. Они неразделимы и неразличимы!
Даже будучи очень удаленными друг от друга, запутанные частицы формируют единое математическое целое.


До сегодняшнего дня никто не смог объяснить, как частицы могут быть «связаны» на расстоянии без сообщения между ними. Действительно, связи, кажется, приходят из-за пределов пространства-времени. Таким образом, нелокальные корреляции могут присоединиться к параду квантовых явлений, который сам по себе уже довольно странен.
A

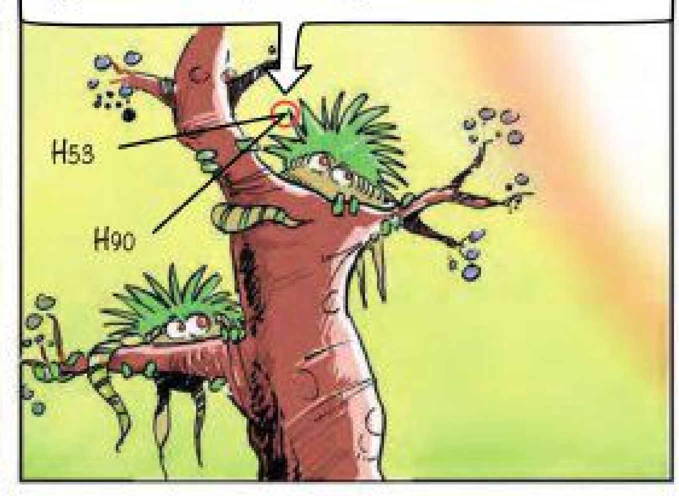

Некоторые гипотезы предполагают что-то вроде «ретроспективности», вызванной отсутствием времени (см. стр. 109). Или возможную «сверхсветовую» скорость. Но дело в том, что на данный момент никто не имеет об этом ни малейшего понятия.
A
Израильский физик, номинированный на Нобелевскую премию, Якир Ааронов говорит, что ученые в основном занимались этой проблемой нелокальных корреляций, просто «не думая об этом».



Частицы могут быть связаны **простым контактом**: например, два соседних атома водорода. Помните старый добрый H53? 7,5 млрд лет назад, в галактике Андромеда...



Тогда H53 был частью волоса гроолфа. Случилось так, что H53 оказался по соседству с H903487640938985113, другим атомом водорода. Мы будем звать его H90.

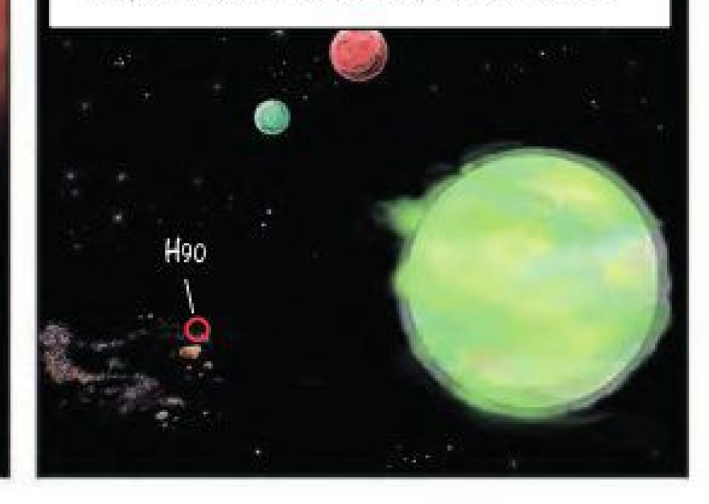


Когда вспышка сверхновой погубила планету гроольфов, атом H90 последовал в сторону, противоположную маршруту H53.

H53

H90

И пока H53 направлялся к Земле, как мы уже видели, H90 бороздил космос несколько миллиардов лет, пока не приземлился на... 3Г моко (мир тесен, не так ли?).





Когда квантовые объекты взаимодействуют, они **остаются запутанными навсегда**. Даже спустя миллиарды и миллиарды лет функции волнового произведения H90 и H53 остаются неделимыми.

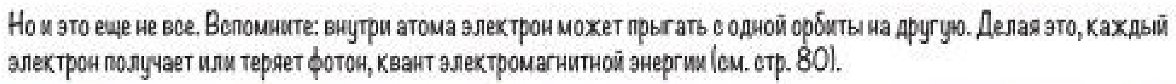


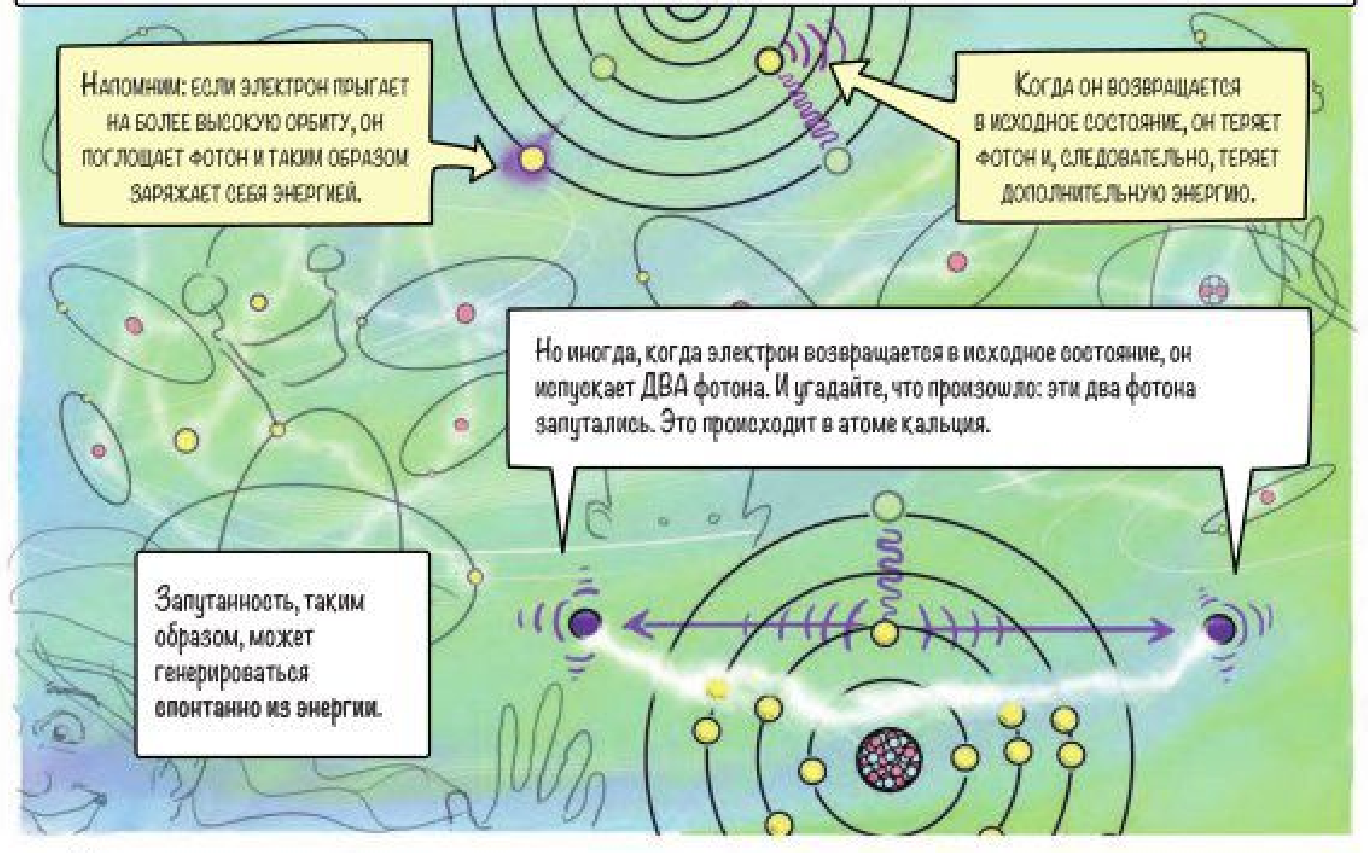


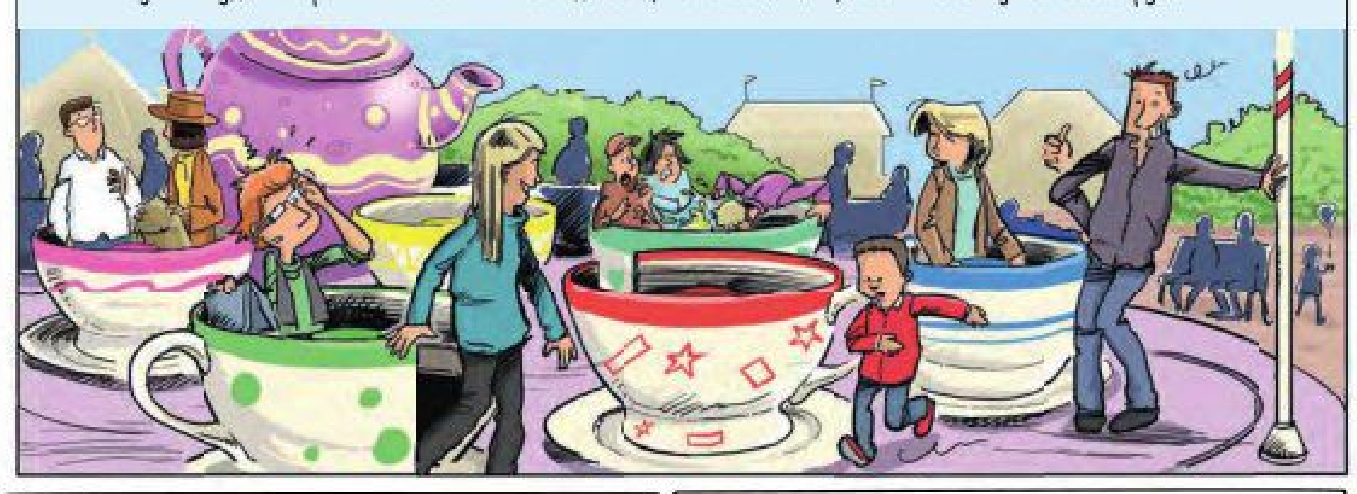


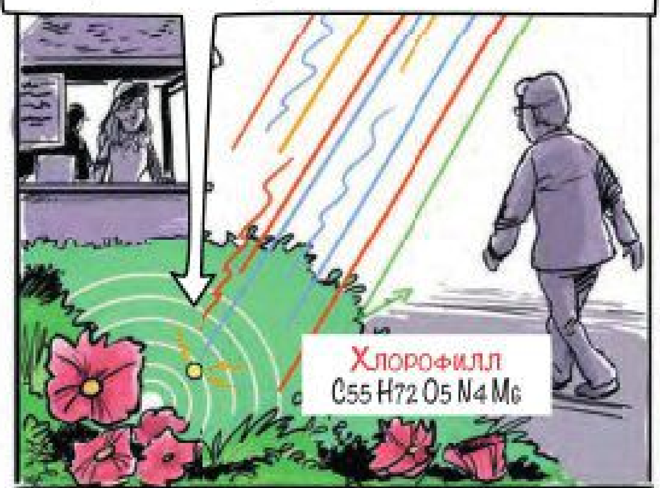
Естественная запутанность также может соединять электроны, находящиеся **внутри** атомов.

Начиная с двух электронов, составляющих гелий.

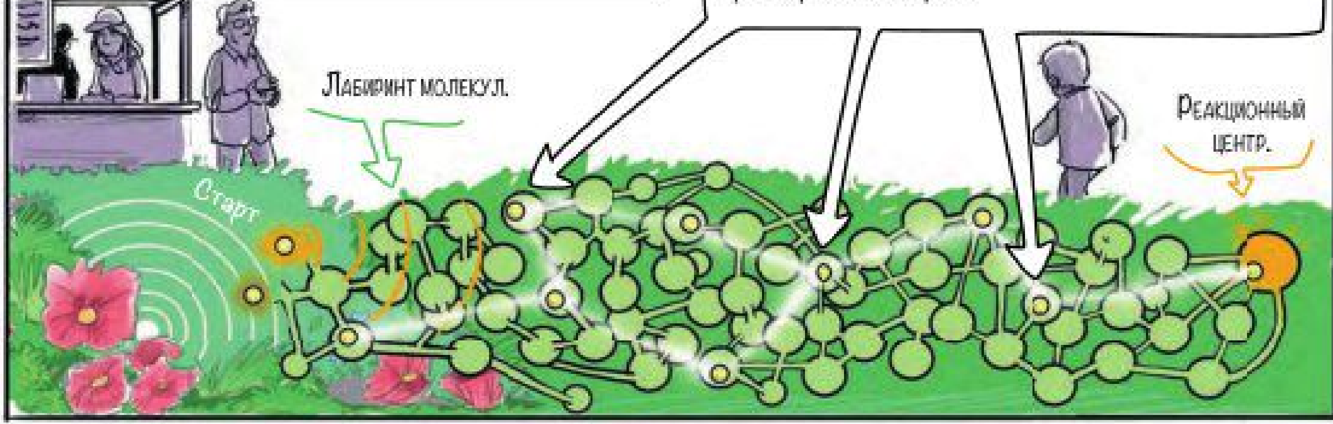





Короче говоря – запутывание, кажется, столь же обычное явление, что комары в болотах Флориды. Время от времени ученым удается бросить мимолетный взгляд на это, но и этого хватит, чтобы вызвать у вас головокружение.


Недавно было высказано предположение, что запутывание является частью фотосинтеза. Как? Дождь фотонов достигает электронов хлорофилла. Красное и синее электромагнитное излучение поглощается.
Хлорофилл
C55 H72 O5 N4 Mc


Благодаря этому излучению электроны оседают на фотонах и повышают свои энергетические уровни настолько, чтобы освободиться от последней атомной орбиты. Теперь они свободны.


Эти наполненные энергией электроны будут включены в сложную биохимическую цепь. Но сначала они должны пройти через лабиринт молекул и «мостов», чтобы добраться до реакционного центра.
По-видимому, эти электроны двигаются, пребывая в суперпозиции и запутанности. Они одновременно идут по всем путям в лабиринте, тем самым избегая пустой траты времени и энергии.
Лабиринт молекул.
Старт
Реакционный центр.

Важные биологические роли могут играть также и некоторые другие квантовые эффекты , такие как **дыхание клеток**, цепочка поставок энергии через пищу, основа жизни. Но наши знания об этом все еще скудны.







Надо сказать, что область **квантовой биологии** остается в значительной степени неизведанной территорией: мы едва высадились на ее пляжах. Но одно можно сказать наверняка: весь наш мир подвержен запутанности, включая и **материю** (протоны/нейтроны/электроны), и **энергию** (фотоны).

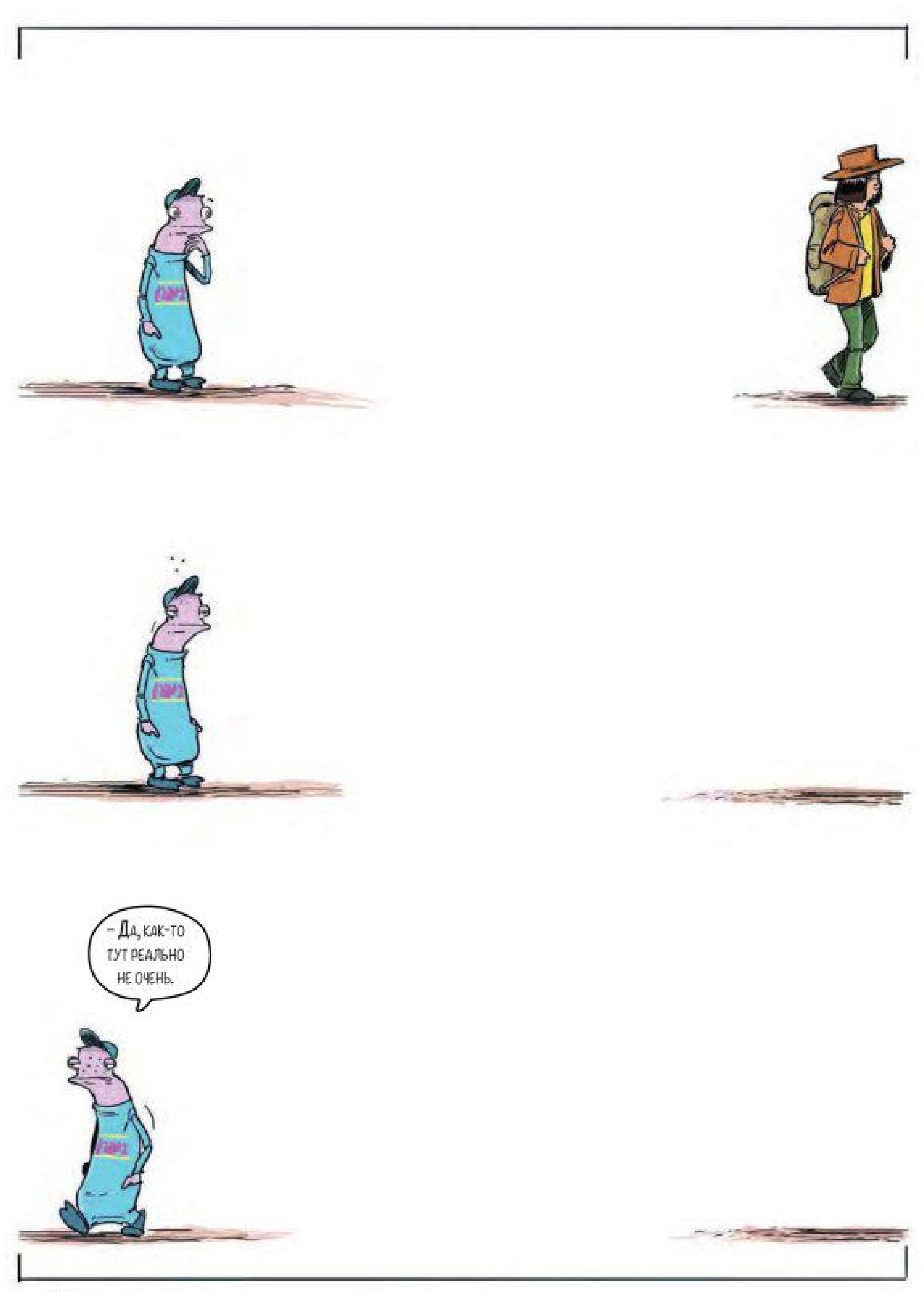
– Гилберт, а можно мне соленый десерт?

Теоретически все может быть запутано. Этому нет предела.

Парковка

– Как-то тут не очень...


Со своими мгновенными и синхронизированными связями – независимыми от расстояния – запутанность ведет себя так, как если бы между объектами не было пространства!
– Да на аттракционе «Чайник»! Ну, вроде... зверя! В соседней чашке!
– Да какой-нибудь внезгмоксианин из открытого космоса!
– А у него были во-о-от такие огромные тентакли??
– Ты идиот.
– Ха-ха-ха!
– Эхх. Надо отложить Згрломов пунш.
– Еще один парад! Сколько денег на это тратят!
– Хмм... Не очень оригинальные инопланетяне... Выглядят как странная смесь Болотного Монстра и Куки Монстра!


– Да, как-то тут реально не очень.

Эпилог

НЕОПРЕДЕЛЕННОЕ ОБЛАКО В ПУДИНГЕ

«Природа состоит из «квантовых полей, в которых элементарные события происходят в пространстве-времени. Мир странный, но простой».

Карло Ровелли, физик, один из создателей теории петлевой квантовой гравитации

Пустота. На самом деле наш мир пуст.

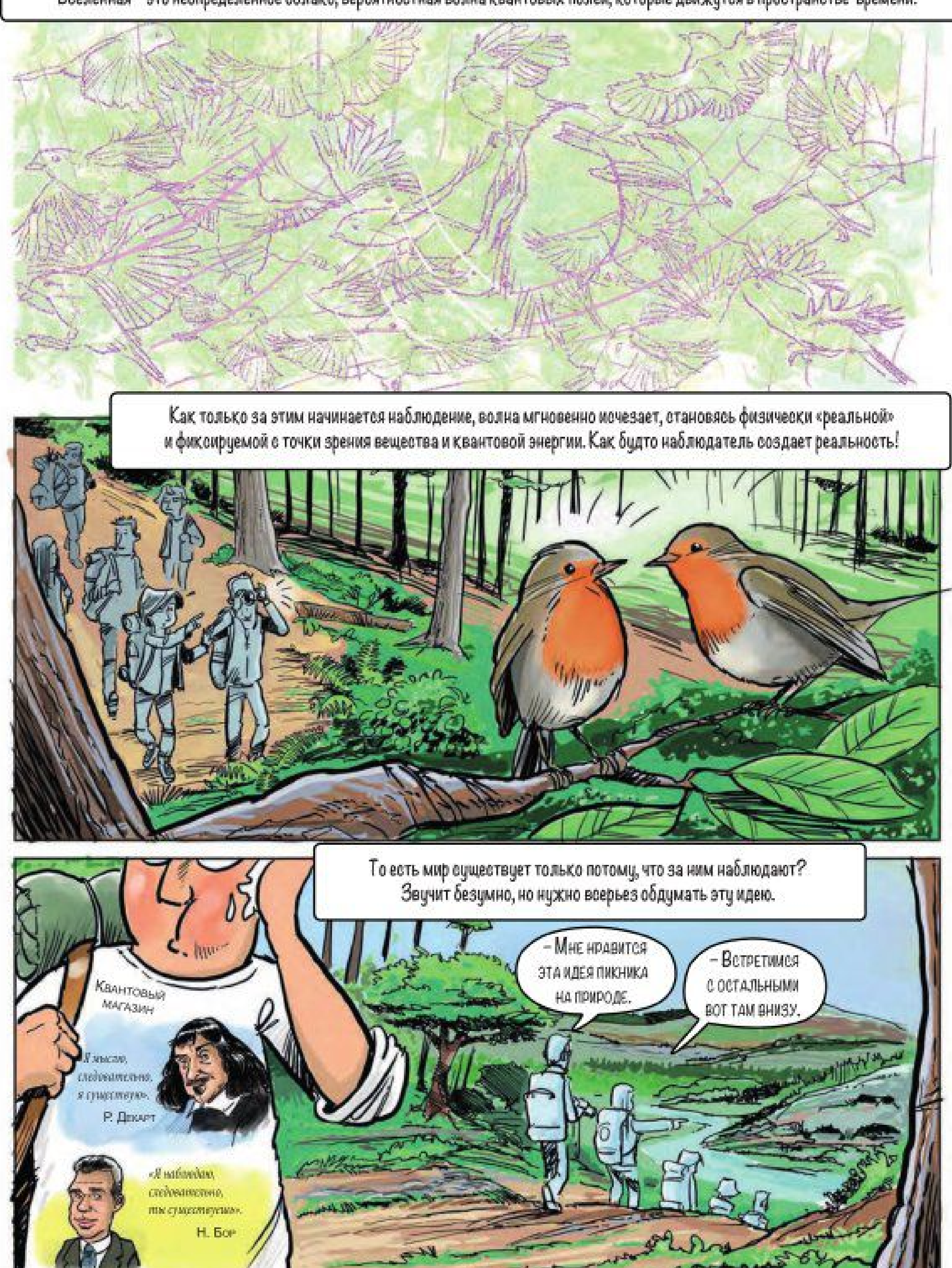
Присмотритесь. Теперь видите? «Пустота» не значит «ничего».

Помните, что вакуум содержит постоянные квантовые колебания: виртуальные частицы, возникающие ниоткуда и существующие в течение наномоментов.

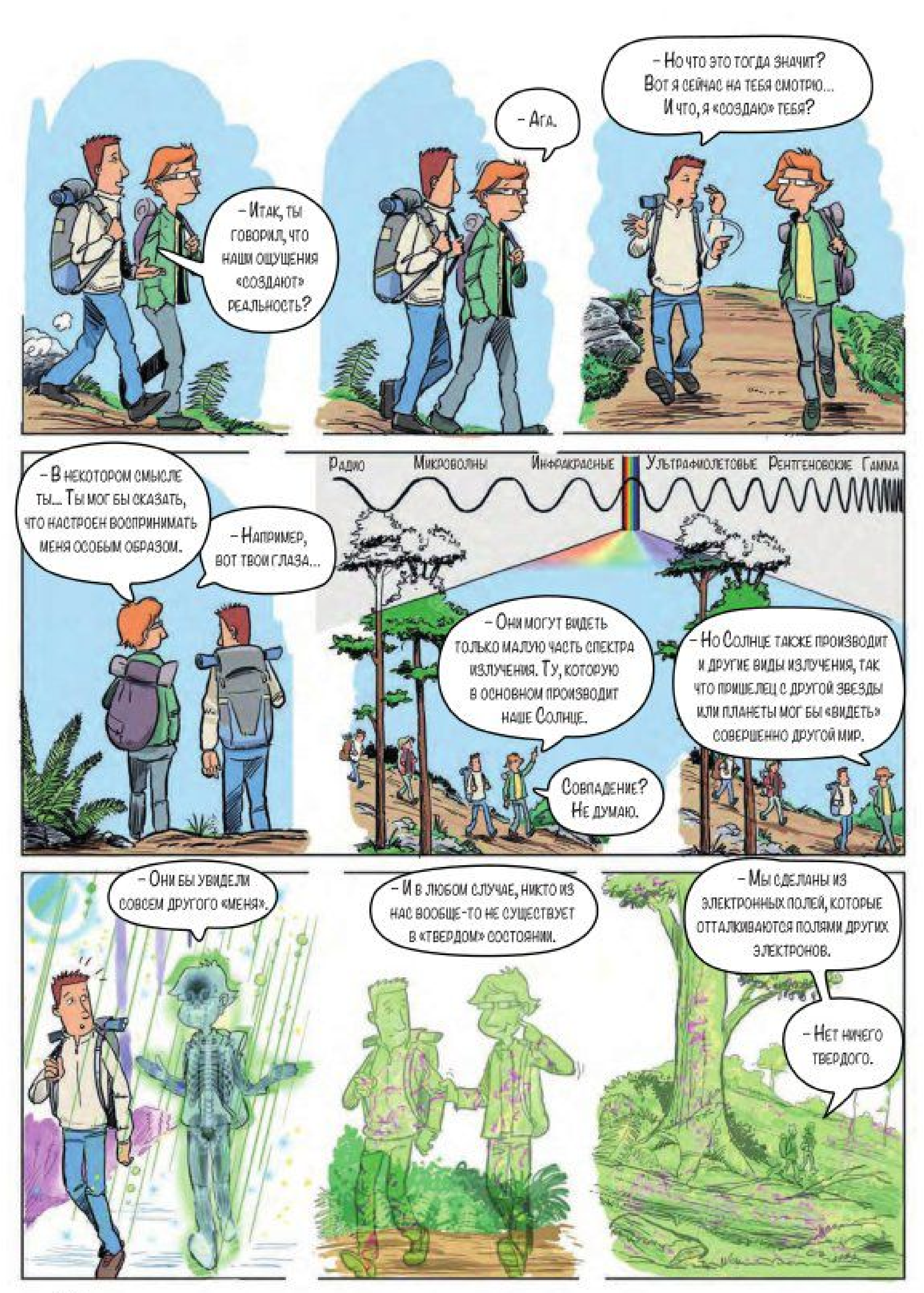
Это только наномоменты, но их достаточно, чтобы дать энергию и, следовательно, массу атомам, которые сами по себе в основном пустые, как пузыри с пустотой. Материя – это пустота в движении.

Пустота – в постоянном танце фотонов, которые являются видимыми и невидимыми носителями света. Представьте себе веселую джигу атомов, где энергия и потребляется, и производится. Фотоны и электроны постоянно трансформируются друг в друга.

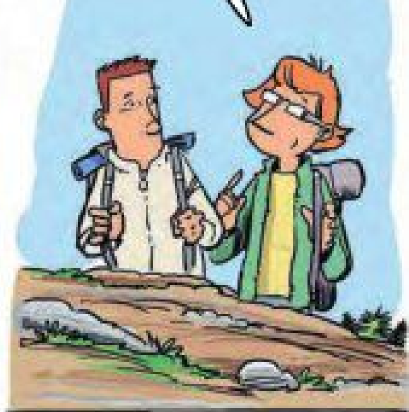
Безумный танец между материей и энергией происходит одновременно повсюду, без ограничений и сдерживающих факторов – это неопределенная волна.



Вселенная – это неопределенное облако, вероятностная волна квантовых полей, которые движутся в пространстве-времени.
Как только за этим начинается наблюдение, волна мгновенно исчезает, становясь физически «реальной» и фиксируемой с точки зрения вещества и квантовой энергии. Как будто наблюдатель создает реальность!
То есть мир существует только потому, что за ним наблюдают? Звучит безумно, но нужно всерьез обдумать эту идею.
Квантовый магазин
«Я мыслю, следовательно, я существую». Р. Декарт
«Я наблюдаю, следовательно, ты существуешь». Н. Бор
– Мне нравится эта идея пикника на природе.
– Встретимся с остальными вот там внизу.


– Итак, ты говорил, что наши ощущения «создают» реальность?
– Ага.
– Но что это тогда значит? Вот я сейчас на тебя смотрю... И что, я «создаю» тебя?
– В некотором смысле ты... Ты мог бы сказать, что настроен воспринимать меня особым образом.
– Например, вот твои глаза...
Радио
Микроволны
Инфракрасные
Ультрафиолетовые
Рентгеновские
Гамма
– Они могут видеть только малую часть спектра излучения. Ту, которую в основном производит наше Солнце.
Совпадение? Не думаю.
– Но Солнце также производит и другие виды излучения, так что пришелец с другой звезды или планеты мог бы «видеть» совершенно другой мир.
– Они бы увидели совсем другого «меня».
– И в любом случае, никто из нас вообще-то не существует в «твердом» состоянии.
– Мы сделаны из электронных полей, которые отталкиваются полями других электронов.
– Нет ничего твердого.





– Например, видишь этот камень?



!?
?

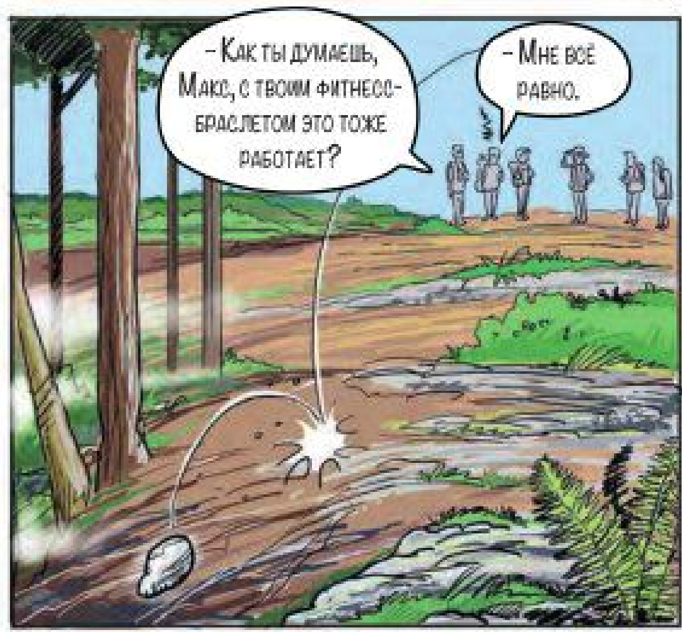
– Не знаю, по-моему, он чертовски постоянный.
– Мне тоже так кажется.
– Если меня попросят назвать только одну постоянную вещь здесь, я бы сказала, что ею является этот камень.

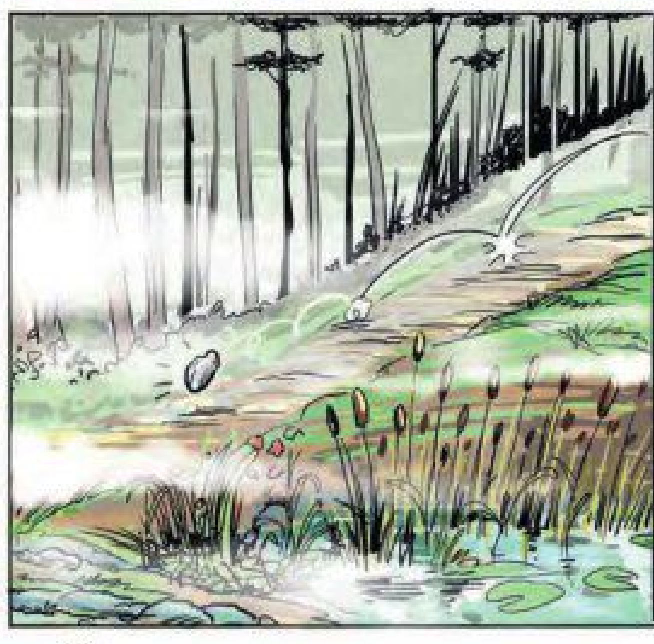


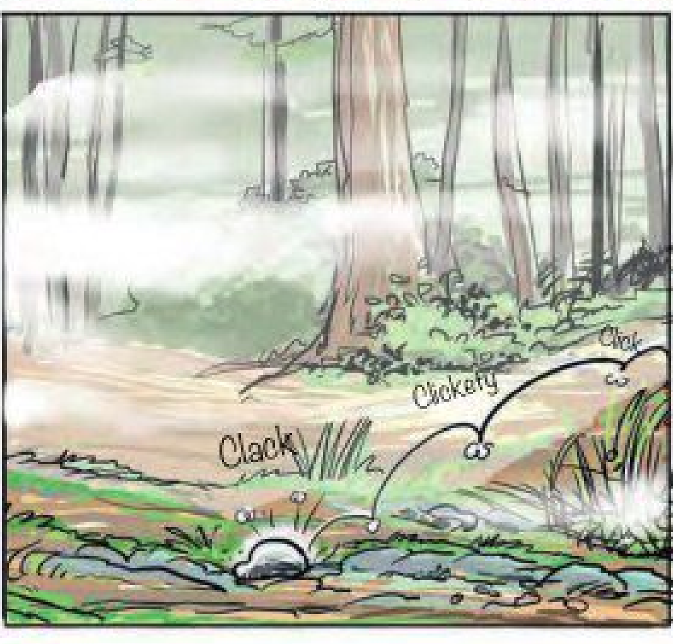



– Для этого камня нет НИЧЕГО постоянного – даже время, которое может «течь» более или менее быстро.
Во-первых, гравитация, в зависимости от высоты камня над уровнем моря, замедляет его время.
– Скорость тоже важна. Смотрите, если я брошу камень...
– Чем быстрее летит камень в пространстве, тем медленнее он будет передвигаться во времени.


– Сейчас время для камня идет немного медленнее, чем для нас.


– Как ты думаешь, Макс, с твоим фитнесс-браслетом это тоже работает?
– Мне всё равно.




Clack
Clickety
Click

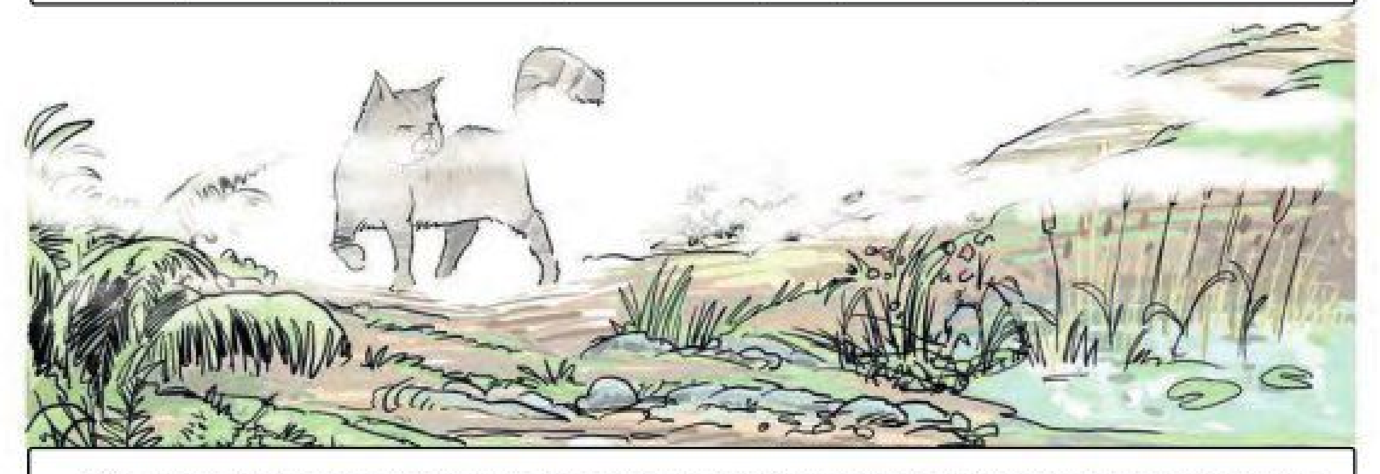
Бесконечно малое становится все больше. Несколько десятилетий назад ученые едва могли проследить за двумя электронами в вакууме, который должен был быть близок к абсолютному нулю (-273°).



Но со временем человечеству стало удаваться обнаруживать все более крупные объекты в суперпозиции или запутывании...



...даже объекты, видимые невооруженным глазом, например чрезвычайно маленькие кристаллы, таким образом отодвигая границы **декогеренции** – явления, которое естественным образом приводит к коллапсу квантовой волны.



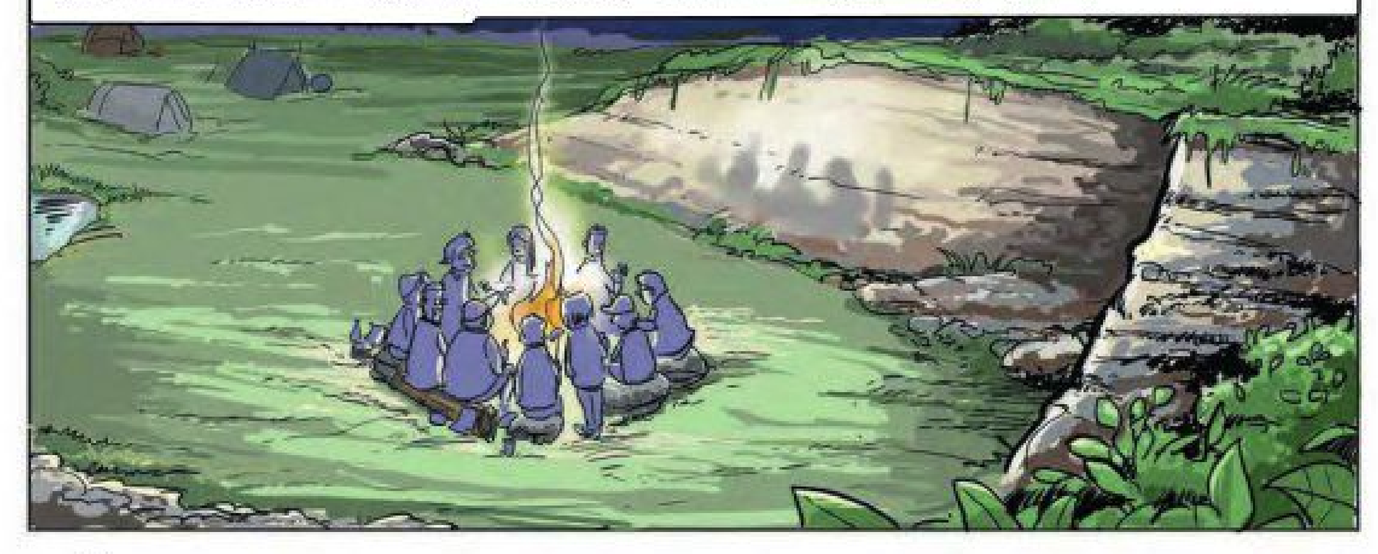
...Больше и теплее! Квантовые эксперименты проводились во «влажной и шумной» среде, близкой к условиям, необходимым для органической жизни. Это открывает огромные перспективы для квантовой биологии. На этом этапе самый жирный кот Шредингера состоит из нескольких тысяч атомов...

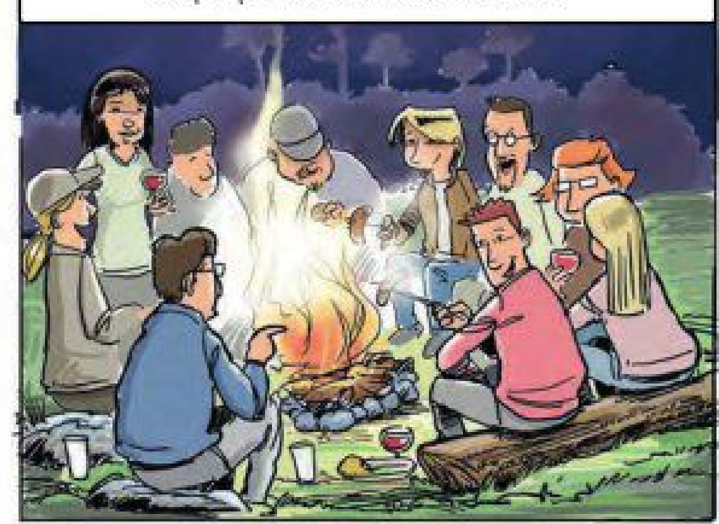



За последнее столетие наука помогла нам впервые в нашей истории немного понять часть нашей «завуалированной реальности».
– Палатка с колышками? Я думал, такие перестали продавать еще в каменном веке.
– Ну... Хм. Примерно тогда я ее и купил.
– А ты не во всем гик, как я посмотрю.


– Смотри и учись.
– Хоп!


– О-о-о, волшебство! Ты колдун!
Мне кажется, этот фокус заслуживает пива.
– Сначала нам нужно запастись дровами на ночь.
И не подходи слишком близко к своей винтажной палатке... Ты можешь привлечь молнию.


Недавний научный прогресс можно сравнить с аллегорией пещеры Платона. Философ описывает людей, которые вынуждены проводить всю свою жизнь в пещере, сидя спиной к костру. Их единственный горизонт – стена перед ними.

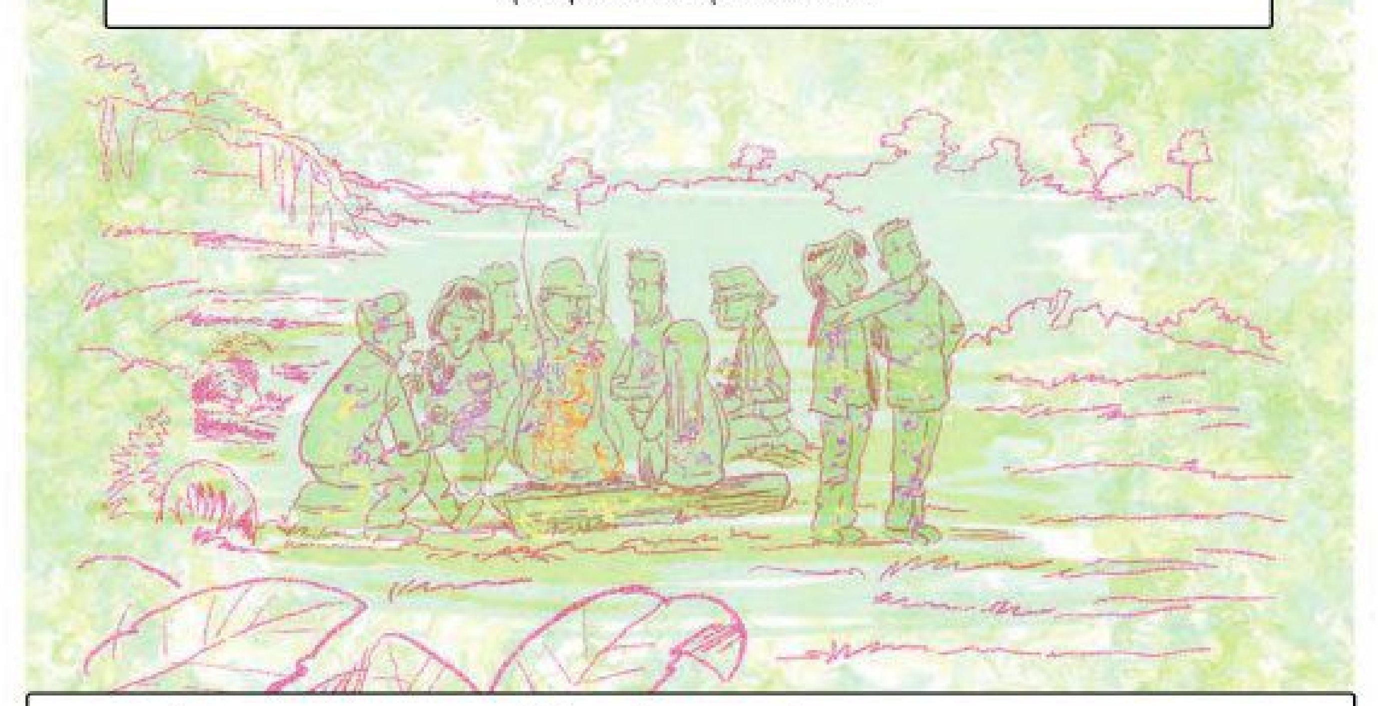

Наше сенсорное восприятие – как люди в этой пещере, для которых реальность состоит только из...


...теней, которые они видят на стене перед собой.


Если кто-то из них выйдет из пещеры, он увидит мир таким, какой он есть. Но как объяснить «дерево», «реку» или «небо» другим? И будут ли они вообще в это верить?
– Эй, Гилберт! Твой кусок квантового поля как пожарить? Посильнее или средняя прожарка подойдет?

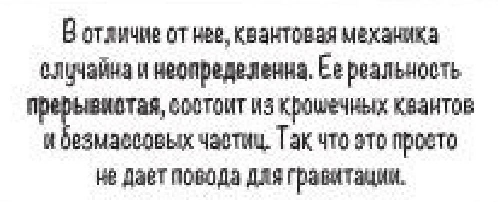

Люди начали выходить из пещеры. Наши знания начали подниматься с горизонтальной планки к бесконечно большому и малому.
– Ой... Не держи его так долго на огне.

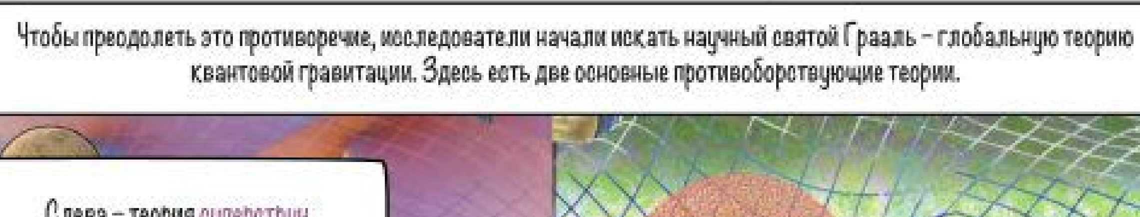
Эти открытия заставляют философов коренным образом переосмыслить свой подход к древнему вопросу: что такое **существование**? Теперь мы знаем, что время, пространство, энергия и материя не то, чем они притворяются. Это огромный скачок!



Итак, мы знаем, чем не является мир. Но мы гораздо менее уверены, чем же он на самом деле является. Примечательно, что релятивистская физика (бесконечно большое) и квантовая механика (бесконечно малое) основаны, по-видимому, на противоположных принципах. И гравитация – это их камень преткновения.

Релятивистская «продавленная» пространственно-временная версия гравитации следует классической **детерминистской** логике причин и следствий. Ее мир **непрерывен**, а не разделен на части.





Слева – теория суперструн. Она строит мир, используя не три, а десять измерений.

– Ты какой-то бледный.

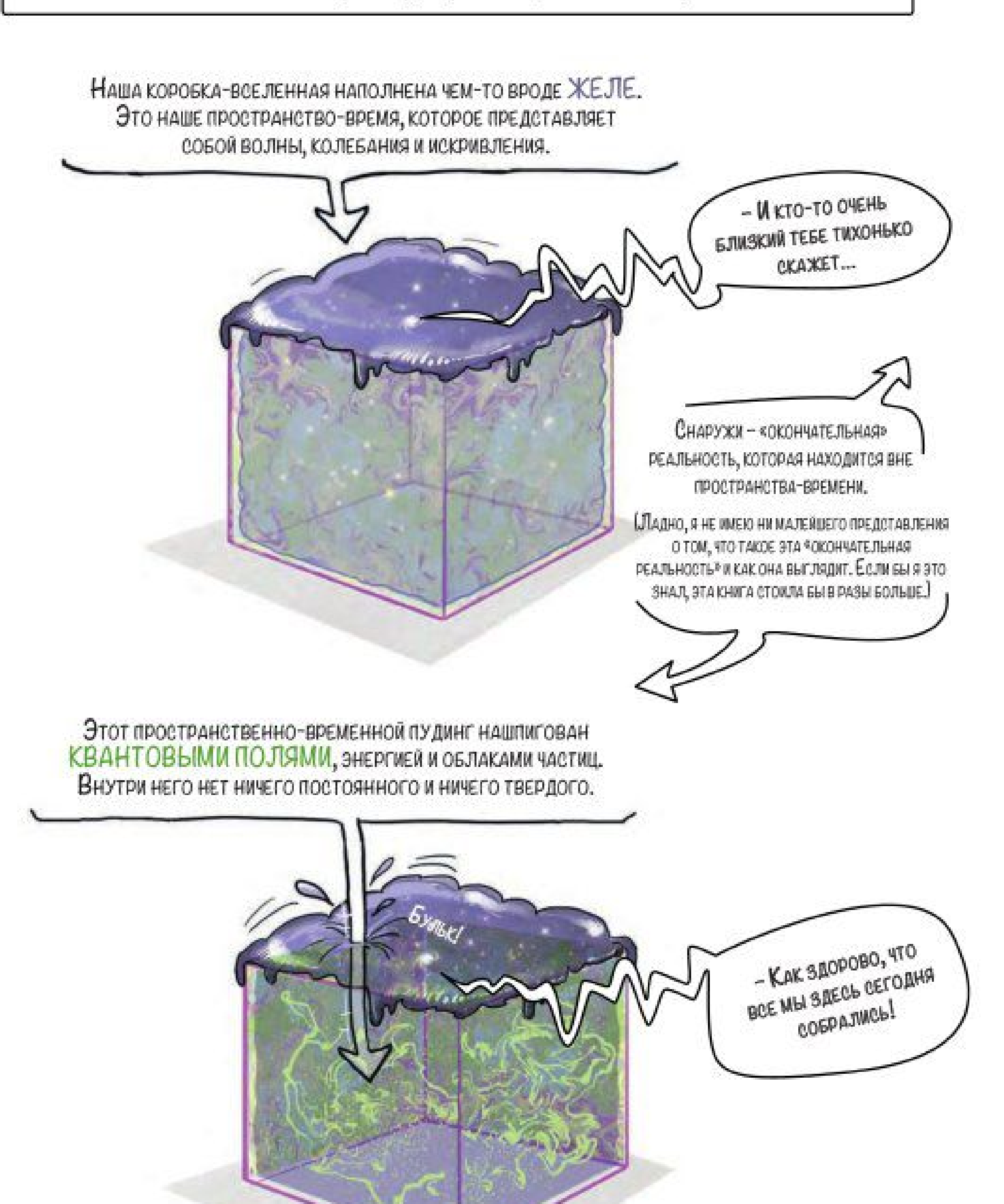
Справа – теория петлевой квантовой гравитации.

Но проблема в том, что мы не можем даже представить себе семь новых измерений: эта вселенная немного напоминает гардероб трансвестита, выступающего в кабаре. И до сих пор никто не нашел ни малейшего следа их существования (измерений, а не трансвеститов).

Согласно ей, пространство-время гранулировано, то есть оно состоит из квантов, таких как энергия и материя. Мир, таким образом, будет полностью состоять из квантовых полей.

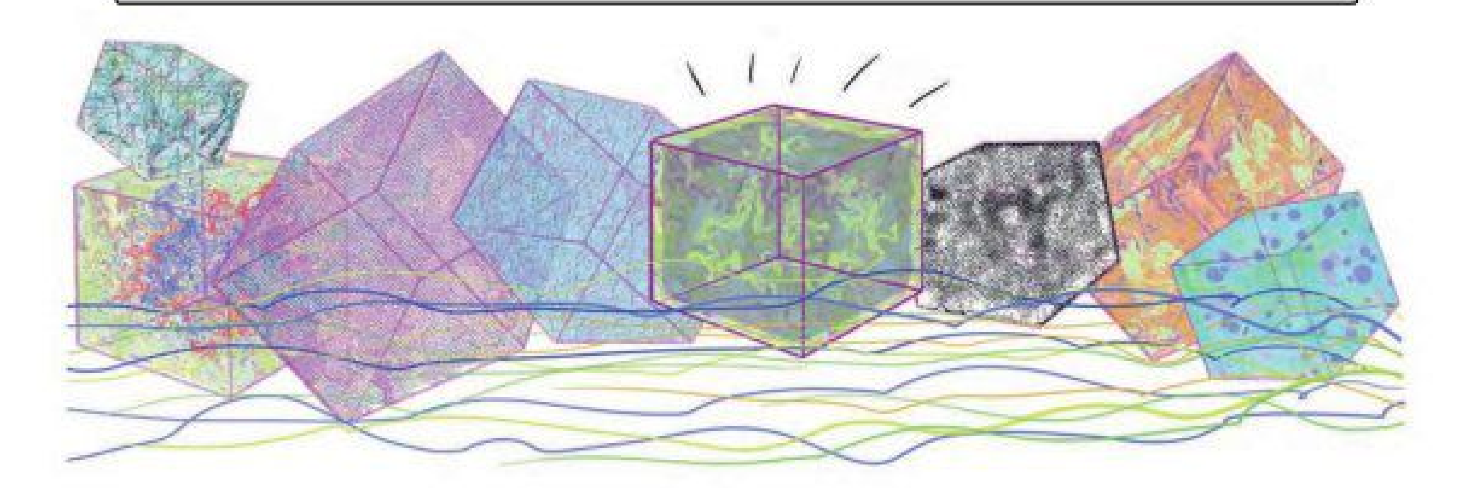


Наша вселенная вместе с нами, кажется, содержится внутри коробки. Это хорошая большая коробка, но она все же находится под контролем другой реальности, «окончательной» реальности.



Короче говоря, мы живем в **картине-обманке, фальшивом мифе**.
И это началось около 13 млрд лет назад. Вместе с Большим взрывом...

И было ли что-то до Большого взрыва? Еще одна коробка? Несколько коробок? У них были разные виды измерений? Могут ли время и пространство быть квантовыми полями, которые появляются только в большом масштабе? Является ли сама Вселенная квантовой и вероятностной, случайно замороженной в один из возможных периодов времени среди миллиардов других, только потому, что мы наблюдаем ее? Все эти варианты серьезно рассматриваются учеными.



Возможно, ключи к этой окончательной реальности даны в прошлом. Если это так, нам повезло: мы сможем это расшифровать! Помните, что свет вечен; свет, который приходит к нам со всех концов вселенной, не пострадал во время своего путешествия в 13 млрд лет, так что это снимок далекого прошлого.

Мы можем почти наблюдать момент Большого взрыва, того «пятна», которое было как бесконечно малым, так и бесконечно плотным, что делает его редким местом – наряду с черными дырами, – где воссоединяются релятивистские и квантовые правила.

Однако мы ответим: если мы даже сможем – это будет бессмысленно. Например, попытайтесь представить бесконечный период времени, без начала и конца. Это непросто, не так ли? Но теперь представьте себе обратное, конечный период времени. Что это вообще значит? Вот видите... ничего из этого ни логично, ни разумно.





– Охх... Брр... Такое ощущение, что я спал в коробке!
– Доброе утро!



– Привет! Вы слышали эти странные звуки?
– Это Адам хрустит суставами...
Он, как ты знаешь, уж не юный птенчик, ха-ха.
Брр...
Плохо спал.
Хрусть



Нет, я имею в виду шум среди ночи, что-то вроде «Бабах!».
– А, нет... Ничего. Но если это был «Большой взрыв», значит, ты проспал о-о-очень долго!
– Хе-хе... А скажите мне, что мы делаем в этих дебрях, в километрах от ближайшего вай-фая?
– У вас есть план выживания?









– Довольно странно смотреть на мир в горизонтальном положении.

– Интересно, что мы найдем, если отправимся прямо вверх?..

– ...до конца вселенной.

– Может, когда-нибудь и узнаем.

– Давайте просто наслаждаться тем, как проходит время...

– Немного щекотно, да?

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: **115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А**.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: **www.a-planeta.ru**.

Оптовые закупки: тел. +7 (499) 782-38-89

Электронный адрес: **books@alians-kniga.ru**.

Лоран Шефер

Квантикс

Комикс о квантовой физике и относительности

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
dmkpress@gmail.com
Перевод *Князева Н. А.*
Корректоры *Синяева Г. И.*
Верстка *Орлов И. Ю.*
Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Формат 70×100 1/16. Гарнитура «Noteworthy».
Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,51.

Тираж 1000 экз.

Веб-сайт издательства: **www.dmkpress.com**